

ANÁLISE DOS ESFORÇOS EM EDIFÍCIOS ALTOS

Vilar Fiuza da Camara Júnior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovada por:



Humberto Lima Soriano

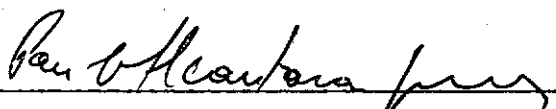
(Presidente)



Fernando Luís Lobo B. Carneiro



Fernando Venâncio Filho



Paulo Alcantara Gomes

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 1978

FICHA CATALOGRÁFICA

CAMARA JÚNIOR, VILAR FIUZA DA

Análise dos Esforços em Edifícios Altos. [Rio de Janeiro] 1978.

VIII, 196p. 29,7cm (COPPE-UFRJ, M. Sc., Engenharia Civil, 1978)

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia.

1. Estruturas I.COPPE/UFRJ II.Título (série).

A MEU PAI †

E ã MINHA MÃE

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Humberto Lima Soriano, pelos ensinamentos e sugestões, e por sua dedicação como orientador de tese.

Aos professores da COPPE/UFRJ, pelos valiosos conhecimentos transmitidos durante o curso de pós-graduação;

À Universidade do Amazonas e à CAPES, pelo auxílio financeiro;

Ao Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ, pelo apoio durante o desenvolvimento da programação automática;

À Secretaria do Programa de Engenharia Civil da COPPE, pelas atenções recebidas em inúmeras ocasiões;

A meu irmão José Inácio e sua esposa, Helleniza, pelo apoio amigo e constante;

À minha esposa, pela compreensão e incentivo; a meus filhos, cuja presença é estímulo.

A tantas outras pessoas que, por outros meios, contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho objetiva a análise de esforços em estruturas de edifícios contendo vigas e pilares de várias formas geométricas e com posições relativas quaisquer nos pavimentos, dotadas ou não de apoios elásticos, submetidas a carregamentos verticais e laterais e a recalques dos apoios. Admite-se a existência de lajes diafragmas no nível de cada piso.

A análise é feita pelo método dos deslocamentos.

Dá-se ênfase à programação automática elaborada para computador, desenvolvendo-se um processo para o tratamento da matriz de rigidez com largura de faixa variável, utilizando-se o conceito de deslocamentos de conjuntos de andares, e efetuando-se a montagem em blocos do sistema de equações de equilíbrio da estrutura.

Nos vários exemplos de estruturas analisados, a programação desenvolvida revelou-se eficiente quanto aos tempos de processamento e quanto à precisão dos resultados obtidos.

ABSTRACT

This paper has as objective the structural analysis of buildings in which the beams and columns may have several geometrical shapes and any relative position in each story. The skeletons may have elastic supports, be under vertical and lateral loads and foundation displacements. The existence of diaphragm slabs in each floor level is admitted.

The analysis is made by the displacement method.

Emphasis is given to the automatic programming for computer by developing a process for the changing-bandwidth stiffness matrix treatment, by using the concept of story group displacements, and by building the structural equilibrium equations divided in blocks.

In the many analyzed examples, the coding showed good time and result precision performances.

ÍNDICE

<u>Capítulo</u>	<u>Pág.</u>
I     INTRODUÇÃO .....	1
II    MODELO ESTRUTURAL	
II-1   Idealização e hipóteses .....	6
II-2   Sistema de referência global .....	8
II-3   Graus de liberdade dos nós da estrutura .	8
II-4   Elementos estruturais	
II-4.1   Vigas .....	11
II-4.2   Pilares .....	12
II-5   Apoios .....	13
II-6   Solicitações externas .....	14
III   PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	
III-1   Vigas	
III-1.1   Sistema de referência local ...	16
III-1.2   Graus de liberdade .....	16
III-1.3   Matrizes de rigidez .....	16
III-1.4   Esforços de engastamento	
perfeito .....	24
III-2   Pilares	
III-2.1   Sistema de referência local ...	33
III-2.2   Graus de liberdade .....	33
III-2.3   Matrizes de rigidez .....	34
III-2.4   Esforços de engastamento	
perfeito .....	38
IV    TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE REFERÊNCIA	
IV-1   Generalidades .....	39

<u>Capítulo</u>	<u>Pág.</u>
IV-2 Vigas	
IV-2.1 Relações geométricas .....	39
IV-2.2 Matriz de transformação .....	40
IV-2.3 Matriz de rotação .....	42
IV-3 Pilares	
IV-3.1 Relações geométricas .....	44
IV-3.2 Matrizes de rotação .....	48
IV-3.3 Matriz de transformação .....	50
V ANÁLISE DA ESTRUTURA	
V-1 Método de análise .....	53
V-2 Montagem e resolução do sistema de equações .....	56
V-2.1 Comentários .....	59
V-3 Consideração dos apoios no sistema de equações	
V-3.1 Apoios da base da estrutura ...	61
V-3.2 Apoios elásticos laterais dos andares .....	63
V-4 Cálculo dos esforços nas extremidades dos elementos	
V-4.1 Vigas .....	64
V-4.2 Pilares .....	64
V-5 Reações de apoio .....	65
VI O PROGRAMA AUTOMÁTICO	
VI-1 Generalidades .....	68
VI-2 Características do problema .....	68
VI-3 Estruturação do programa .....	70
VI-4 Subrotinas do programa "ATEEL" .....	79
VI-5 Limitações do programa e outras informações .....	83



<u>Capítulo</u>	<u>Pág.</u>
VII EXEMPLOS E CONCLUSÕES	
VII-1 Exemplos .....	85
VII-2 Conclusões .....	95

### Apêndices

A	MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA "ATEEL" .....	97
A-1	Formato dos cartões de dados .....	98
A-2	Preparação dos dados e codificação dos cartões .....	101
A-3	Lista das mensagens de erro .....	126
B	NOMENCLATURA .....	129
C	LISTAGEM DO PROGRAMA .....	131
D	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	173
E	EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA "ATEEL" .....	177

## I - INTRODUÇÃO

A análise dos esforços em uma estrutura de edifício elevado normalmente induz o engenheiro à idealização de um modelo estrutural representativo do problema físico real. Quanto mais complexa é a estrutura mais este problema se avoluma, e os recursos disponíveis pelo profissional - simples calculadoras ou máquinas programáveis - são, em maior ou menor grau, fatores limitativos de sua capacidade de operar com elevada quantidade de valores numéricos e, por conseguinte, da concepção de um modelo fiel ao comportamento da estrutura real.

Atualmente a disponibilidade de computadores digitais de porte e velocidade cada vez maiores não só permite como até mesmo exige dos pesquisadores a caracterização de modelos estruturais sofisticados, em que as hipóteses simplificadoras da análise são gradualmente substituídas por considerações físicas que conferem maior segurança aos resultados. Por exemplo, da idealização estrutural em simples vigas contínuas, em pórticos planos isolados ou associados, e em grelhas, passou-se ao estudo do comportamento tridimensional da estrutura.

Na COPPE/UFRJ este último enfoque foi primeiramente estudado por SORIANO<sup>5</sup> em 1971, que elaborou uma programação automática para a análise de estruturas de edifícios submetidas à ação do vento. O modelo estrutural adotado consistia de pórticos planos (painéis) ortogonais interagindo através de lajes diafragmas, desprezadas as interações flexão-torção dos painéis bem como as rigidezes transversais destes. Posteriormente

te FONTE<sup>3</sup>, em 1972, desenvolveu um novo trabalho com um modelo de características mais gerais, ou seja, constituindo um pórtico espacial com lajes diafragmas ao nível de cada andar, levando em conta não somente carregamentos laterais como também verticais sobre a estrutura. A programação automática elaborada impunha certas limitações à análise, tais como uma reduzida quantidade de pontos nodais e a consideração exclusivamente de elementos de eixos retilíneos e seções transversais constantes. Mais recentemente, em 1977, MENEZES<sup>19</sup> realizou um trabalho visando o dimensionamento em concreto armado de estruturas de edifícios sujeitas a cargas verticais; os pavimentos são tratados como grelhas, e os pilares como apoios elásticos às rotações dos nós.

No presente trabalho aborda-se a análise elástico-linear de estruturas tridimensionais de edifícios submetidas a ações de carregamentos estáticos. Incluem-se no modelo estrutural adotado um conjunto de características mais comuns desse tipo de estrutura, tais como: vigas e pilares com eixos longitudinais e seções transversais de várias formas; excentricidades dos extremos dos elementos em relação aos pontos nodais estabelecidos no modelo; elementos com quaisquer disposições relativas em planta e não necessariamente constituindo pavimento tipo; e outras considerações julgadas de interesse, como pilares inclinados, e a colocação de apoios elásticos não apenas na base da estrutura como lateralmente em cada andar. O Capítulo II deste trabalho expõe com detalhes as particularidades do modelo em questão. Quanto às ações externas solicitantes, podem ser considerados vários tipos de cargas sobre as vigas, cargas diretamente aplicadas aos nós e aos andares da estrutura, bem como recalques impostos aos apoios inferiores.

O tratamento teórico do assunto - estudo do modelo estrutural, do método de análise e do método de resolução do sistema de equações de equilíbrio da estrutura - foi feito visando especialmente uma programação automática para computador.

Diante deste objetivo, vários foram os problemas resolvidos no desenvolver do trabalho, com o intuito de se produzir um programa eficiente e de custo computacional aceitável. Não só o citado tratamento teórico como também o problema do armazenamento de dados - geralmente em grande quantidade - tiveram de ser cuidadosamente encarados, para se reduzir o gasto de memória e de tempo de processamento, ordinariamente elevados nesse tipo de análise. Alguns procedimentos adotados constituíram, em conjunto, fator decisivo para a adequação do problema à prática da programação, entre os quais citam-se:

- a hipótese da existência de lajes diafragmas, permitindo a redução do número de graus de liberdade da estrutura, que é de  $6n$  no caso mais geral, para  $3(n+p)$ , onde  $n$  é o número de pontos nodais e  $p$  o de pavimentos da estrutura;
- o conceito de deslocamentos de bloco de andares, conduzindo a uma sensível diminuição da quantidade de coeficientes não nulos na matriz de rigidez da estrutura, em comparação com o caso em que se trabalha com os deslocamentos absolutos dos andares;
- o aproveitamento da disposição interna dos elementos vigas e pilares, própria dos edifícios comuns, resultando em uma formulação da matriz de rigidez em forma de "degraus" (veja-se Capítulo V);
- a subdivisão do sistema de equações em "blocos", por andar, aproveitando-se a característica de faixa de cada um desses "blocos" na matriz de rigidez;
- a provável existência de pavimento tipo, proporcionando uma descrição "compacta" da estrutura, ou seja, com um número relativamente reduzido de cartões de dados;
- a adoção de modernas técnicas de programação, em linguagem facilmente conversível aos diversos equipamentos existen-

tes.

A programação resultante deste trabalho recebeu o nome "ATEEL" - Análise Tridimensional de Estruturas de Edifícios Elevados.

Várias são as programações desenvolvidas para a análise estrutural, destacando-se entre os mais notórios os sistemas STRESS, STRUDL, NASTRAN, LORANE, etc. Tais sistemas de programação apresentam a característica de permitirem a abordagem de ampla variedade de problemas dentro da análise de estruturas. Alguns incluem, além da análise estática, a possibilidade do estudo das ações dinâmicas, do comportamento não-linear, e da discretização de meios contínuos pelo Método dos Elementos Finitos. Geralmente uma estruturação modular de programação permite a anexação de rotinas, de modo a abranger novos problemas. Quanto à facilidade de utilização desses sistemas, em geral o usuário dispõe a seu favor de linguagens orientadas ao problema, que lhe facultam a codificação dos dados de seus problemas servindo-se de termos e expressões bem coloquiais em seu trabalho cotidiano.

A despeito da existência de sistemas de programação gerais, é sempre justificável a elaboração de programas específicos para a solução de um determinado tipo de problema, em especial quando se trata de um assunto de larga aplicação e, por si só, variado. Além disto, é de certa forma intuitiva a noção de que um programa específico pode ser mais eficiente e barato do que um sistema complexo. Dentro deste espírito é que a programação resultante deste trabalho foi desenvolvida. Quanto à codificação dos cartões de dados, conquanto não se tenha elaborado uma linguagem orientada, criou-se um esquema simples mas de certo modo flexível, e voltado para as necessidades usuais dos que lidam com o projeto de edifícios. Assim, os cartões são identificados por palavras chaves e dispostos em uma seqüência apropriada à descrição do problema. Além disto, um conjunto de rigorosos testes de consistência permite detectar

várias dezenas de erros diferentes, de codificação e perfuração de cartões de dados. Por outro lado, a programação modular elaborada permitiria a ampliação de seu "raio de ação", como por exemplo pela consideração das rigidezes efetivas de elementos bidimensionais (lajes e pilares paredes). Dentro desta idéia, o programa é uma parcela de um sistema para edifícios altos, pois está preparado para receber novos subprogramas para a análise dessas estruturas sob ações dinâmicas, atualmente em estudos na COPPE.

É interessante notar que, embora se esteja tratando de análise tridimensional, a programação em foco permite a resolução de problemas mais simples, tais como vigas contínuas, pórticos planos e grelhas. Em outras ocasiões, pode ser de interesse a análise de um modelo simplificado em relação à estrutura real, quando se deseja por exemplo ter apenas uma idéia do comportamento macroscópico da estrutura.

A programação para computador resultante deste trabalho constitui-se tão somente numa ferramenta para a análise de estruturas de edifícios. Da sensibilidade e experiência do engenheiro que porventura o utilizar, bem como da perfeita compreensão do modelo estrutural adotado e de suas limitações é que resultará uma boa aplicação e obtenção de resultados confiáveis.

## II - MODELO ESTRUTURAL

### II-1. IDEALIZAÇÃO E HIPÓTESES

O modelo estrutural é idealizado como constituído basicamente por barras representando vigas e pilares, conectadas entre si através de suas extremidades em pontos nodais. A posição de uma barra é definida pela linha que passa pelos centros de gravidade das seções transversais do elemento estrutural por ela representado.

Quanto à disposição relativa dos elementos na estrutura, deve-se admitir que:

- a) uma viga qualquer está sempre contida no plano horizontal correspondente ao nível do andar a que pertence. Podem ser quaisquer as posições relativas desses elementos em um determinado andar, e seus eixos devem ser retos ou circulares em planta (excepcionalmente podem ser incluídas no modelo vigas de formas quaisquer, como se verá no capítulo III). Seus extremos podem coincidir com pontos nodais ou estarem excentricamente conectados aos mesmos de modo a simular o comportamento de vigas unidas a colunas de grandes dimensões transversais (fig. II-1).

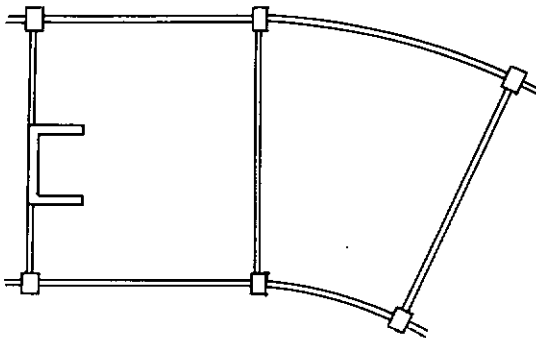


Fig. II-1 Esquema de um vigamento

b) um pilar qualquer interpõe-se a dois andares contíguos, podendo seu eixo longitudinal ser vertical ou não. Seus extremos também podem ser excêntricos em relação aos pontos nodais da estrutura, o que permite representar, por exemplo, eventuais mudanças da posição do eixo de uma coluna vertical cujas dimensões transversais sofram alterações ao longo do edifício (fig. II-2 c). É livre a disposição das colunas em planta, e não se exige sua continuidade de um pavimento para outro.

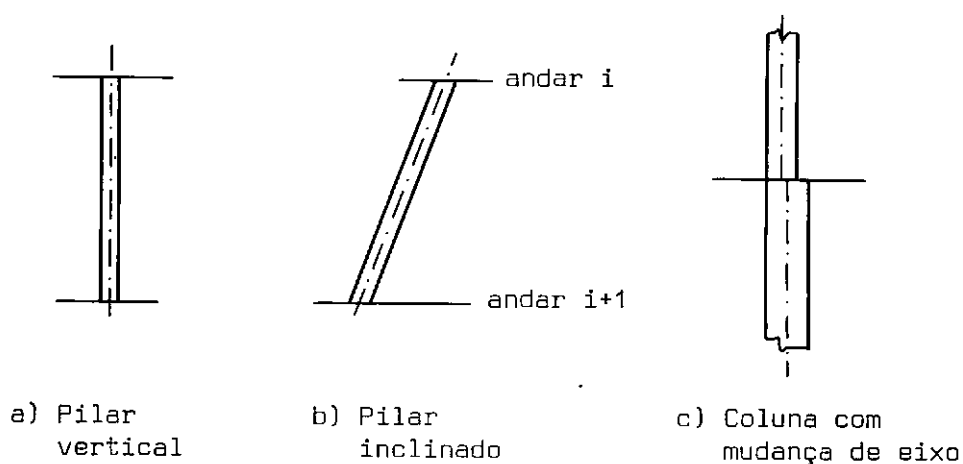


Fig. II-2 Pilares

As lajes são consideradas como diafragmas, ou seja, infinitamente rígidas em seus planos e com rigidez nula à flexão. Além disto, idealiza-se em cada pavimento um conjunto de lajes contínuas em toda a sua extensão.

São supostas válidas as hipóteses das seções planas para as barras, do comportamento elástico-linear para os materiais (linearidade física) e da teoria de primeira ordem para os deslocamentos (linearidade geométrica).



## II-2. SISTEMA DE REFERÊNCIA GLOBAL

Para a definição das características topológicas e análise dos deslocamentos e reações de apoio da estrutura é adotado um sistema de referência tri-ortogonal direto  $X_G Y_G Z_G$ , com origem em um ponto arbitrário da base da estrutura e  $Z_G$  vertical de sentido ascendente (fig. II-3).

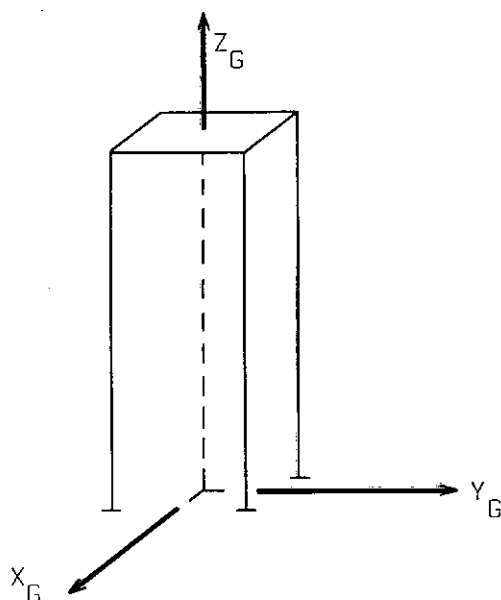


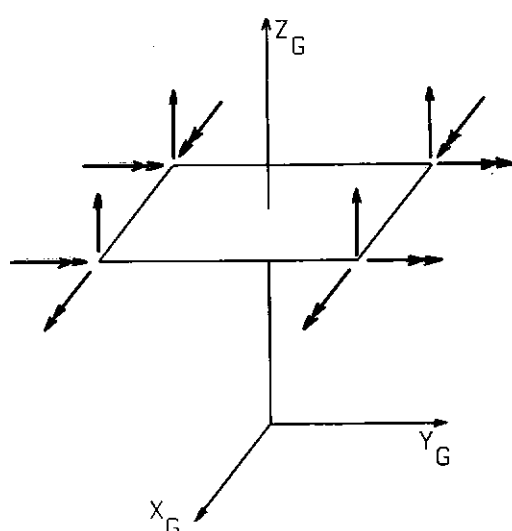
Fig. II-3 Sistema de referência global

## II-3. GRAUS DE LIBERDADE DOS NÓS DA ESTRUTURA

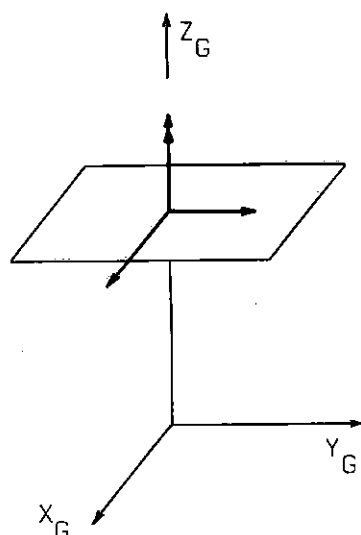
Considerando-se a hipótese das lajes trabalhando como diafragmas, os graus de liberdade dos nós da estrutura são os seguintes:

a) Cada nó pode se deslocar independentemente segundo a direção vertical  $Z_G$  e sofrer uma rotação horizontal decomponível segundo  $X_G$  e  $Y_G$ , possuindo assim três graus de liberdade. A estes movimentos será dada a denominação de "deslocamentos independentes de nó" (fig. II-4 a).

b) Cada andar pode sofrer uma translação horizontal decomponível nas direções  $X_G$  e  $Y_G$  e uma rotação segundo o eixo vertical  $Z_G$ , sendo estes três graus de liberdade os correspondentes aos movimentos do andar como um corpo rígido em seu plano. Por este motivo é que a eles será conferida a designação de "deslocamentos de corpo rígido de andar" ou simplesmente "deslocamentos de andar" (fig. II-4 b). O ponto de referência para a medida desses deslocamentos é a interseção do plano do andar com o eixo  $Z_G$ .



a) Deslocamentos independentes dos nós de um andar



b) Deslocamentos de corpo rígido de um andar

Fig. II-4 Graus de liberdade

Nesta análise, ao se estabelecer os graus de liberdade de um andar como um corpo rígido, considera-se que os seus movimentos são acompanhados por todos os demais andares sobrepostos. Trabalha-se, pois, com o conceito de deslocamentos de "bloco de andares", contados em relação ao pavimento imediata-

mente subjacente (fig. II-5 a) (\*). Este conceito, como será visto adiante (Cap. V), proporciona uma diminuição da quantidade de coeficientes não nulos do sistema de equações de equilíbrio da estrutura, em comparação com o mesmo sistema de equações obtido com a consideração de deslocamentos "absolutos" de andar (fig. II-5 b).

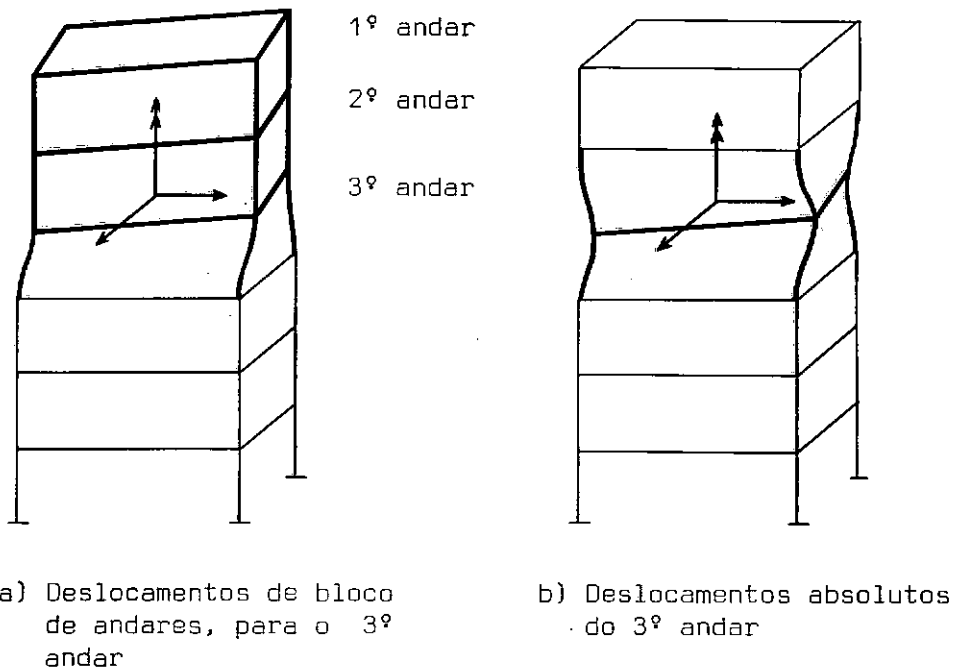


Fig. II-5 Deslocamentos de corpo rígido de andar

Do exposto conclui-se que o número de graus de liberdade de um pavimento qualquer  $i$  é  $3(n_i + 1)$ , onde  $n_i$  é a quantidade de pontos nodais nele estabelecidos. O número total de graus de liberdade da estrutura é, portanto,

$$3 \left( \sum_{i=1}^p n_i + p \right),$$

sendo  $p$  o número de pavimentos do edifício.

(\*) Neste trabalho a numeração dos andares é feita a partir do topo da estrutura.

## II-4. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

## II-4.1 VIGAS

Na presente análise sô se consideram vigas tais que cada seção transversal reta tenha uma das direções principais de inércia vertical. Respeitadas esta exigência e a da horizontalidade dessas peças, elas podem ter eixos longitudinais e seções transversais de formas quaisquer. Entretanto, na programação desenvolvida para a análise por computador somente se rão calculados automaticamente os coeficientes de rigidez e os esforços de engastamento perfeito dos seguintes tipos de vigas (fig. II-6):

- vigas de eixo reto e seção transversal constante;
- vigas de eixo reto com mísulas retas verticais;
- vigas de eixo circular e seção transversal constante.

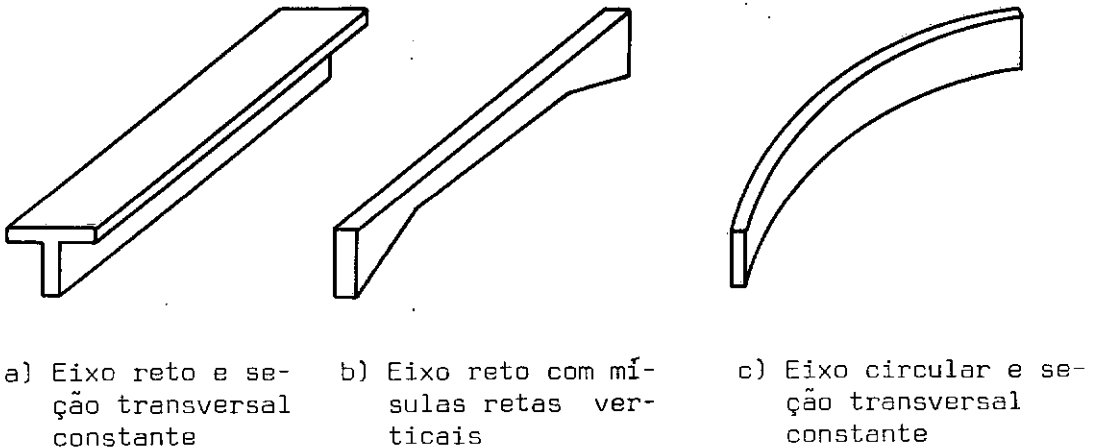


Fig II-6 Tipos mais comuns de vigas

cálculo dos coeficientes de rigidez e esforços de engastamento perfeito dos elementos da figura (II-6). Para outro tipo de viga que não estes, a matriz de rigidez é obtida a partir da matriz de flexibilidade de um dos extremos da peça, conforme o procedimento indicado ao final do citado item.

#### II-4.2 PILARES

Um pilar deve ter o eixo retilíneo e forma geométrica tal que não haja interação da flexão com a torção. Dentro deste conceito as formas das seções transversais podem ser quaisquer, porém a programação automática foi elaborada para aceitar de maneira simples os dados numéricos dos pilares de seção transversal constante.

Pilares paredes e caixas formando núcleos resistentes podem ser tratados de forma aproximada como barras. No caso de vigas conectadas a estes elementos, dispõem-se elementos infinitamente rígidos ("trechos rígidos") ligando os extremos das quelas aos eixos dos pilares (fig. II-7).

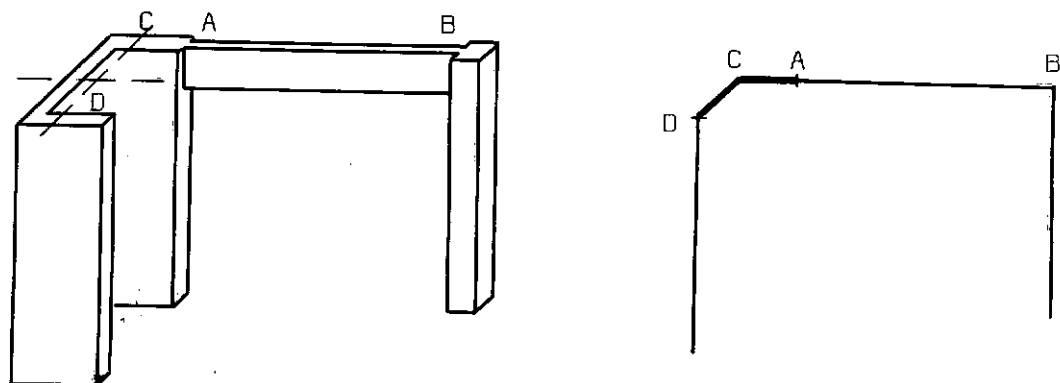


Fig. II-7 Viga unida a caixa formando núcleo resistente

Elementos de contraventamento - tais como barras de treliça - podem ser incluídos no modelo estrutural como pilares com rigidezes nulas à flexão e à torção (fig. II-8). Assim considerados, estes elementos podem ser usados com a finalidade de simular o efeito do contraventamento de paredes de alvenaria, caso se disponha dos parâmetros elásticos apropriados.

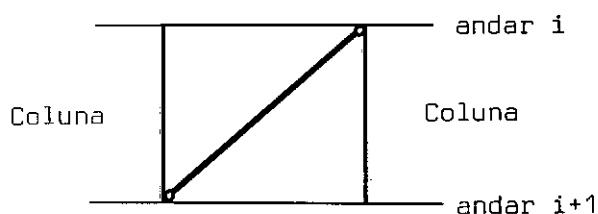


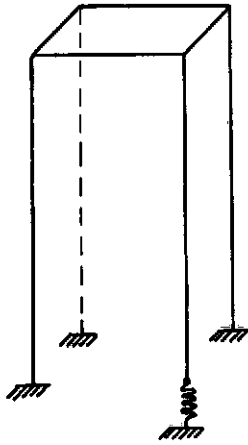
Fig. II-8 Elemento de contraventamento

## II-5. APOIOS

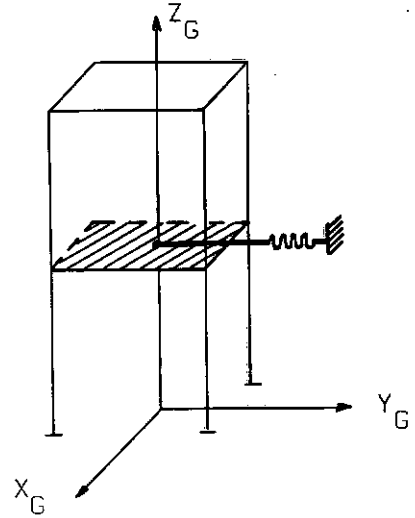
São implicitamente consideradas como apoiadas no solo todas as colunas do pavimento mais inferior da estrutura. Estes apoios, situados em um mesmo plano horizontal, podem ser fixos (ou seja, com deslocamentos prescritos nas direções dos deslocamentos independentes de nã) ou elásticos (fig. II-9a). Em consequência, permite-se analisar no modelo os efeitos de recalques diferenciais dos apoios.

Podem ser levados em conta, ainda, apoios elásticos ao nível de cada andar nas direções de seus deslocamentos de corpo rígido (fig. II-9 b). Estes apoios elásticos laterais permitem a análise de estruturas simétricas submetidas a carga-

mentos também simétricos em relação a um mesmo plano vertical, conforme se pode ver no Capítulo VII. Outra aplicação desses apoios elásticos seria a de permitir a consideração da interação lateral solo-estrutura nos pavimentos de subsolo.



a) Apoios da base da estrutura



b) Apoio elástico de um andar (na direção  $Y_G$ )

Fig. II-8 Apoios da estrutura

## II-5. SOLICITAÇÕES EXTERNAS

Os carregamentos considerados nesta análise, todos de natureza estática, são supostos atuarem sobre a estrutura das seguintes maneiras:

- sobre as vigas, como cargas concentradas e distribuídas;
- diretamente sobre os nós, como cargas verticais e momentos segundo as direções dos deslocamentos independentes de nó;
- sobre os andares, como forças horizontais e momentos segun-

do as direções dos deslocamentos de corpo rígido de andar (são carregamentos típicos do efeito do vento).

Não são consideradas cargas aplicadas sobre os pilares, com exceção do peso próprio.



### III - PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

#### III-1. VIGAS

##### III-1.1 SISTEMA DE REFERÊNCIA LOCAL

A cada viga é associado um sistema de referência tri-ortogonal direto  $X_L$   $Y_L$   $Z_L$ , em que  $X_L$  passa pelas extremidades do elemento e  $Z_L$  é vertical de sentido ascendente. Uma das extremidades da viga é escolhida como a origem desse referencial, definindo-se desta forma o ponto "inicial" da peça (figs. III-1 e III-3).

##### III-1.2 GRAUS DE LIBERDADE

Cada extremo de uma viga possui três graus de liberdade, a saber: as rotações nas direções  $X_L$  e  $Y_L$  e uma translação segundo a direção  $Z_L$ . Em consequência da hipótese das lajes trabalhando como diafragmas, os demais deslocamentos não produzem esforços no elemento, motivo pelo qual não são considerados como graus de liberdade independentes. As figuras (III-1) e (III-3) ilustram os seis possíveis deslocamentos das extremidades das vigas e sua numeração.

##### III-1.3 MATRIZES DE RIGIDEZ

A relação entre os esforços e os deslocamentos dos extremos de uma viga não carregada, no sistema de referência local, é dada pela seguinte expressão matricial:

$$\underline{A}_{VL} = \underline{S}_{VL} \underline{D}_{VL} \quad (\text{III-1})$$

onde  $\underline{A}_{VL}$  e  $\underline{D}_{VL}$  são os citados esforços e deslocamentos, dispostos em vetores e numerados de acordo com a figura (III-1), e  $\underline{S}_{VL}$  é a matriz de rigidez do elemento. No presente caso, esta matriz é quadrada de ordem seis.

A seguir serão reproduzidas as matrizes de rigidez das vigas, tais como são calculadas na programação automática desenvolvida para a análise da estrutura.

A - VIGA DE EIXO RETO E SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE

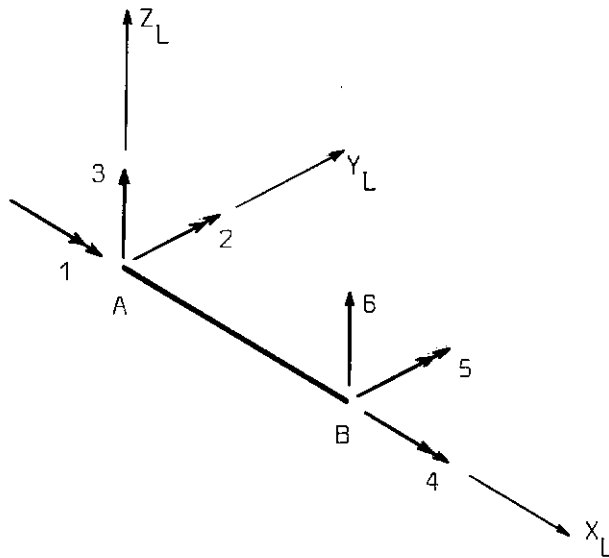


Fig. III-1 Sistema de referência local de viga de eixo reto e graus de liberdade

A matriz de rigidez (III-2) deste tipo de viga é mostrada na página seguinte, sendo:

$E$  - módulo de elasticidade longitudinal

$G$  - módulo de elasticidade transversal

$L$  - vão da viga

$I_x$  - momento de inércia à torção

$I_y$  - momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo  $Y_L$

$$\phi = 1 + \frac{12EI_y}{L^2GA_x f}$$

$A_x$  - área da seção transversal

$f$  - coeficiente de forma para o esforço cortante

$S_{VL} =$ 

$$\begin{bmatrix}
 \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 \frac{3+\phi}{\phi} \frac{EI_y}{L} & -\frac{6}{\phi} \frac{EI_y}{L^2} & 0 & \frac{3-\phi}{\phi} \frac{EI_y}{L} & \frac{6}{\phi} \frac{EI_y}{L^2} \\
 & \frac{12}{\phi} \frac{EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6}{\phi} \frac{EI_y}{L^2} & -\frac{12}{\phi} \frac{EI_y}{L^3} \\
 & & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 \text{simétrica} & & & \frac{3+\phi}{\phi} \frac{EI_y}{L} & \frac{6}{\phi} \frac{EI_y}{L^2} \\
 & & & & \frac{12}{\phi} \frac{EI_y}{L^3}
 \end{bmatrix}$$

(III-2)

### B - VIGA DE EIXO RETO COM MÍSLAS RETAS VERTICAIS

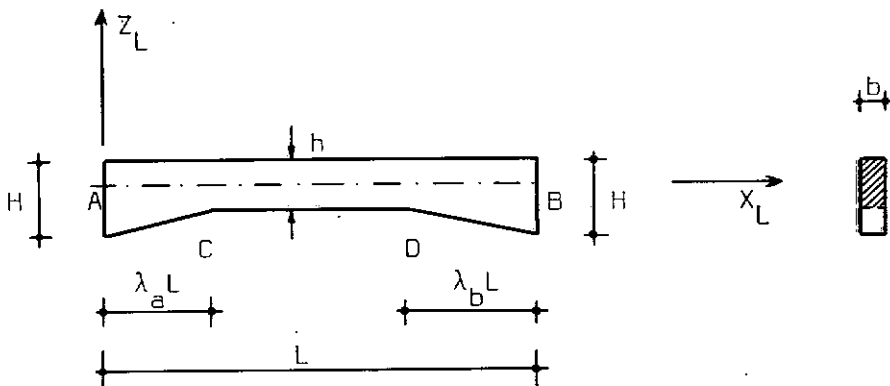


Fig. III-2 Viga de eixo reto com mÍslas retas verticais

É a seguinte a matriz de rigidez<sup>10</sup> do elemento da figura (III-2):

$$S_{VL} = \begin{bmatrix} \frac{GI_x}{L} F_{11} & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} F_{14} & 0 & 0 \\ & \frac{4EI}{L} Y_{F22} - \frac{6EI}{L^2} Y_{F23} & 0 & \frac{2EI}{L} Y_{F25} & \frac{6EI}{L^2} Y_{F26} \\ & & \frac{12EI}{L^3} Y_{F33} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} Y_{F35} - \frac{12EI}{L^3} Y_{F36} \\ & & & \frac{GI_x}{L} F_{44} & 0 & 0 \\ & \text{simétrica} & & & \frac{4EI}{L} Y_{F55} & \frac{6EI}{L^2} Y_{F56} \\ & & & & & \frac{12EI}{L^3} Y_{F66} \end{bmatrix}$$

(III-3)

onde E, G, L,  $I_x$  e  $I_y$  foram definidos anteriormente, sendo estes dois últimos parâmetros referentes à seção transversal do trecho CD da figura (III-2). Definem-se ainda os seguintes fatores:

$$F_{11} = F_{14} = F_{44} = \frac{1}{C_{44}}$$

$$F_{22} = \frac{3C_{55}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2}$$

$$F_{55} = \frac{3C_{22}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2}$$

$$F_{25} = F_{52} = \frac{3C_{25}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2}$$

$$F_{26} = F_{23} = \frac{C_{25} + 2C_{55}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2}$$

$$F_{35} = F_{56} = \frac{C_{25} + 2C_{22}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}}$$

$$F_{33} = F_{66} = \frac{C_{22} + C_{25} + C_{55}}{4C_{22}C_{55} - C_{25}} = F_{36}$$

nos quais:

$$C_{22} = 1 - 3\lambda_a(1-k_1) + 3\lambda_a^2(1-2k_1+2k_2) - (\lambda_a^3+\lambda_b^3)(1-3k_1+6k_2-3k_3)$$

$$C_{25} = 1 - 3(\lambda_a^2+\lambda_b^2)(1-2k_1+2k_2) + 2(\lambda_a^3+\lambda_b^3)(1-3k_1+6k_2-3k_3)$$

$$C_{55} = 1 - 3\lambda_b(1-k_1) + 3\lambda_b^2(1-2k_1+2k_2) - (\lambda_a^3+\lambda_b^3)(1-3k_1+6k_2-3k_3)$$

$$k_1 = \frac{c+2}{2(c+1)^2} \quad k_2 = \frac{1}{2(c+1)^2} \quad k_3 = \frac{1}{c^3} \left[ \log(c+1) - \frac{c(3c+2)}{2(c+1)^2} \right]$$

$$c = \frac{H-h}{h}$$

$$C_{44} = 1 - (\lambda_a + \lambda_b)(1-k_4')$$

$$k_4' = \frac{1}{f} \log(1+f) \quad f = \frac{H-h}{h-0,63b}$$

com  $H$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$  ilustrados na figura (III-2)

#### C - VIGA DE EIXO CIRCULAR E SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE

Em razão da dificuldade de se estabelecer analiticamente a matriz de rigidez do elemento em questão, é preferível obter primeiramente a matriz de flexibilidade de um dos extremos da viga, para em seguida, por inversão desta, determinar a pri

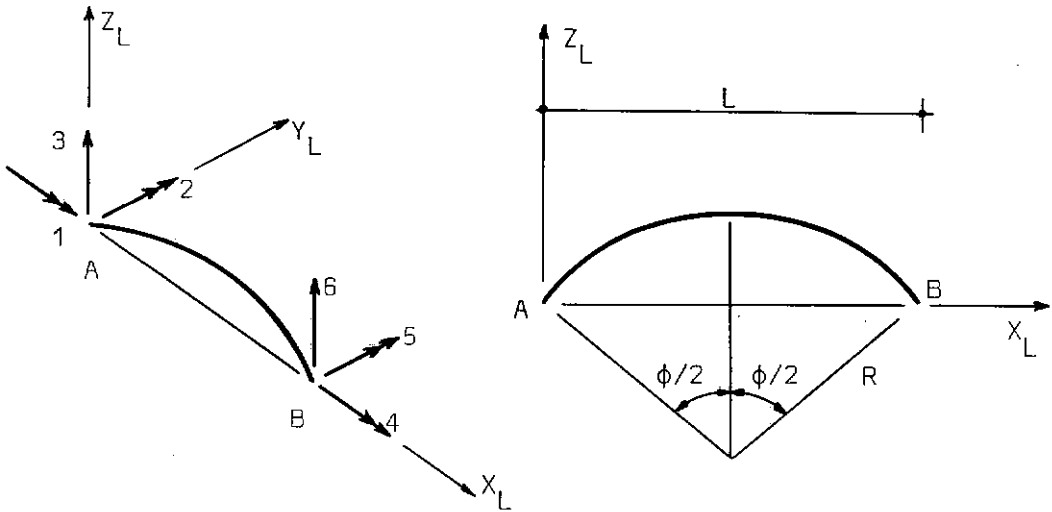
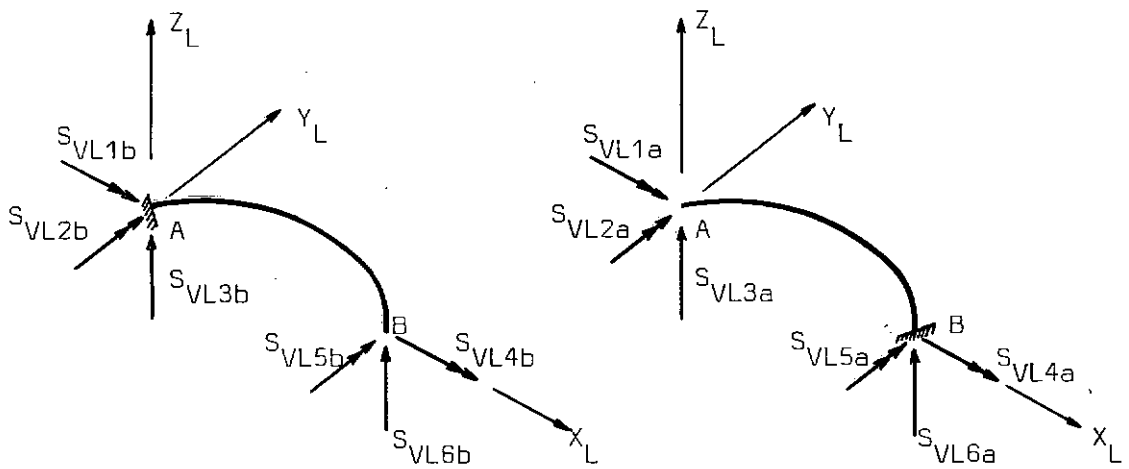


Fig. III-3 Viga de eixo circular em planta:  
Eixos locais de referência e  
graus de liberdade

meira. Para tanto, seja a viga em balanço da figura (III-4a) submetida inicialmente a esforços na sua extremidade livre B, nas direções 4, 5 e 6.



a) Viga engastada na extremidade A

b) Viga engastada na extremidade B

Fig. III-4 Sistemas principais para o cálculo da matriz de rigidez

Os deslocamentos desse extremo naquelas mesmas direções são calculados pela expressão matricial:

$$\underline{D}_{VLb} = \underline{F}_{VLbb} \underline{A}_{VLb} \quad (\text{III-4})$$

onde

$$\underline{F}_{VLbb} = \begin{bmatrix} F_{VL44} & F_{VL45} & F_{VL46} \\ F_{VL54} & F_{VL55} & F_{VL56} \\ F_{VL64} & F_{VL65} & F_{VL66} \end{bmatrix} \quad (\text{III-5})$$

é a matriz de flexibilidade do extremo B da viga, que se supõe conhecida. A inversa desta matriz, como se sabe, é a matriz de rigidez do mesmo extremo do elemento:

$$\underline{S}_{VLbb} = \underline{F}_{VLbb}^{-1} = \begin{bmatrix} S_{VL44} & S_{VL45} & S_{VL46} \\ S_{VL54} & S_{VL55} & S_{VL56} \\ S_{VL64} & S_{VL65} & S_{VL66} \end{bmatrix} \quad (\text{III-6})$$

ou seja, é uma submatriz da matriz completa procurada:

$$\underline{S}_{VL} = \begin{bmatrix} \underline{S}_{VLaa} & \underline{S}_{VLab} \\ \underline{S}_{VLba} & \underline{S}_{VLbb} \end{bmatrix} \quad (\text{III-7})$$

Considerando-se que cada coluna  $k$  (com  $k = 4, 5, 6$ ) da submatriz  $\underline{S}_{VLbb}$  representa os esforços na extremidade final da viga quando se lhe impõem deslocamentos unitários nas direções  $b$  mantendo-se os demais nulos, é fácil obter a submatriz  $\underline{S}_{VLab}$  utilizando-se as equações de equilíbrio estático da viga da figura (III-4 a), isto é:

$$\begin{aligned} S_{VL1k} &= - S_{VL4k} \\ S_{VL2k} &= L S_{VL6k} - S_{VL5k} \\ S_{VL3k} &= - S_{VL6k} \end{aligned} \quad \text{p/ } k=4,5,6 \quad (\text{III-8})$$

Da simetria da matriz de rigidez, tem-se:

$$S_{VLba} = S_{VLab} \quad (\text{III-9})$$

De maneira análoga calculam-se agora os coeficientes da submatriz  $S_{VLaa}$ , ou seja, pelas condições de equilíbrio da viga em balanço mostrada na figura (III-4 b):

$$\begin{aligned} S_{VL1k} &= - S_{VL4k} \\ S_{VL2k} &= L S_{VL6k} - S_{VL5k} \quad p/ \quad k=1,2,3 \\ S_{VL3k} &= - S_{VL6k} \end{aligned} \quad (\text{III-10})$$

O processo acima descrito, bem como os coeficientes de flexibilidade mostrados a seguir, constam da referência bibliográfica (<sup>4</sup>).

$$u = \left( \frac{\phi}{2} + \frac{\text{sen}\phi}{2} \right) \quad v = \left( \frac{\phi}{2} - \frac{\text{sen}\phi}{2} \right)$$

$$F_{VL44} = \frac{R}{GI_x} u + \frac{R}{EI_y} v$$

$$F_{VL45} = F_{VL54} = 0$$

$$\begin{aligned} F_{VL46} = F_{VL64} &= - \frac{R^2}{GI_x} \left[ 2 \text{sen}(\phi/2) - u \cos(\phi/2) \right] + \\ &+ \frac{R^2}{EI_y} v \cos(\phi/2) \end{aligned}$$

$$F_{VL55} = \frac{R}{GI_x} v + \frac{R}{EI_y} u \quad (\text{III-11})$$

$$F_{VL56} = F_{VL65} = - R \text{sen}(\phi/2) F_{VL55}$$

$$\begin{aligned} F_{VL66} &= \frac{R^3}{GI_x} \left[ \phi + u \cos^2(\phi/2) + v \text{sen}^2(\phi/2) - \right. \\ &\quad \left. - 4 \text{sen}(\phi/2) \cos(\phi/2) \right] + \frac{R^3}{GI_x} \left[ u \text{sen}^2(\phi/2) + \right. \end{aligned}$$



$$\left. + v \cos^2(\phi/2) \right]$$

#### D - MATRIZ DE RIGIDEZ DE OUTROS TIPOS DE VIGAS

O processo exposto no item C anterior, para o cálculo da matriz de rigidez de uma viga em função da matriz de flexibilidade de sua extremidade final (eqs. III-4 até III-10) é aplicável a qualquer tipo de viga. No presente trabalho, a programação automática para a análise da estrutura aceita como dados de entrada os coeficientes da matriz de flexibilidade (eq. III-5), efetuando os demais cálculos para a obtenção de  $\underline{S}_{VL}$ . Desta forma, não há nenhuma restrição quanto aos tipos de vigas possíveis de ser analisadas.

#### III-1.4 ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO

A seguir são apresentadas as expressões para os esforços de engastamento perfeito das vigas citadas no item anterior, para vários casos de carregamento.

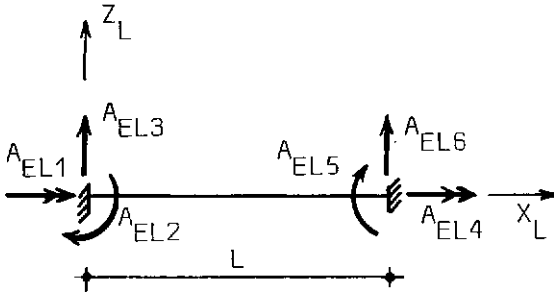
Convém observar que as cargas verticais são positivas quando têm o sentido contrário ao dos eixos  $Z_L$  dos sistemas de referência locais das vigas.

#### A - VIGA DE EIXO RETO E SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE

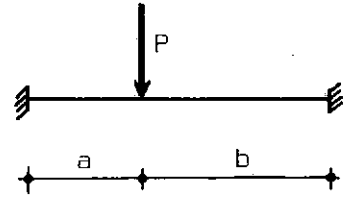
Carga concentrada vertical (fig. III-5 b):

$$A_1 = A_4 = 0 \quad A_3 = \frac{Pb}{L} \left[ 1 + \frac{a(b-a)}{L^2 \phi} \right]$$

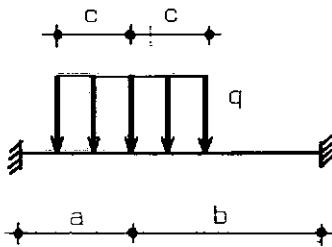
$$A_2 = \left( \frac{Pb^2}{L} - A_3 L \right) / 2 \quad A_5 = Pb - A_2 - A_3 L \quad A_6 = P - A_3$$



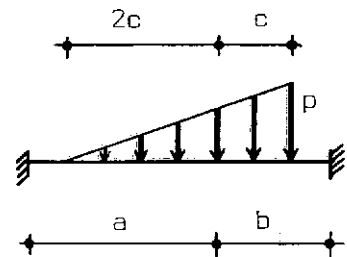
a) Esforços de engastamento perfeito



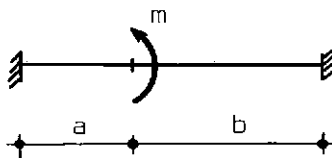
b) Carga concentrada



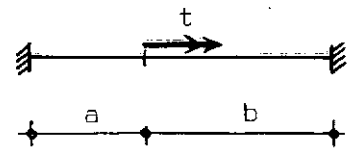
c) Carga uniformemente distribuida



d) Carga linearmente distribuida



e) Carga momento fletor



f) Carga momento torsor

Fig. III-5 Cargas sobre vigas de eixo reto e seção transversal constante

Carga uniformemente distribuida parcial (fig. III-5 c):

$$A_1 = A_4 = 0 \quad A_3 = \frac{2qc}{L} \left[ b + \frac{(c^2 - ab)(a-b)}{L^2 \phi} \right]$$

$$A_2 = \frac{qc}{L} \left( \frac{c^3}{3} + b^2 \right) - \frac{A_3 L}{2} \quad A_6 = 2qc - A_3$$

$$A_5 = A_6 b - A_3 a - A_2$$

Carga linealmente distribuida parcial (fig. III-5 d):

$$A_1 = A_4 = 0 \quad A_3 = \frac{3pc}{L} \left[ b + \frac{(3c^2 - 2ab)(a-b) - 0,8c^3}{2 L^2 \phi} \right]$$

$$A_2 = \frac{3pc}{L} (c^2 + 2b^2) - \frac{A_3 L}{2} \quad A_6 = \frac{3}{2} pc - A_3$$

$$A_5 = A_6 b - A_3 a - A_2$$

Carga momento (fig. III-5 e):

$$A_1 = A_4 = 0 \quad A_2 = - \frac{b m}{L} - \frac{A_3 L}{2}$$

$$A_3 = - \frac{6mab}{L^2 \phi} \quad A_5 = -m - A_2 - A_3 L \quad A_6 = -A_3$$

Carga momento torsor (fig. III-5 f):

$$A_1 = - \frac{t b}{L} \quad A_4 = - \frac{t a}{L} \quad A_2 = A_3 = A_5 = A_6 = 0$$

B - VIGA DE EIXO RETO COM MÍSLAS RETAS VERTICAIS<sup>10</sup>

Carga concentrada (fig. III-6 a):

$$A_1 = A_4 = 0$$

$$A_2 = \frac{2EI_Y}{L} (F_{25}\Delta_1 + \frac{3F_{23}}{L} \Delta_2)$$

$$A_3 = -\frac{6EI_Y}{L} (F_{35}\Delta_1 + \frac{2F_{33}}{L} \Delta_2)$$

$$A_5 = \frac{2EI_Y}{L'} (F'_{25}\Delta_1 - \frac{3F'_{35}}{L'} \Delta_2)$$

$$A_6 = \frac{6EI_Y}{L'} (F'_{23}\Delta_1 - \frac{2F'_{33}}{L'} \Delta_2)$$

sendo

$$\Delta_1 = \frac{-P S_{12}}{S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

$$\Delta_2 = \frac{P S_{11}}{S_{11}S_{22} - S_{12}^2}$$

e:

$$S_{11} = 4EI_Y \left( \frac{F_{55}}{L} + \frac{F'_{22}}{L'} \right)$$

$$S_{12} = 6EI_Y \left( \frac{F_{35}}{L^2} - \frac{F'_{23}}{L'^2} \right)$$

$$S_{22} = 12EI_Y \left( \frac{F_{33}}{L^3} + \frac{F'_{33}}{L'^3} \right)$$

Nas expressões acima, os parâmetros F e L referem-se à parte da viga à esquerda do ponto de aplicação da carga, enquanto que F' e L' referem-se ao trecho à direita do mesmo ponto.

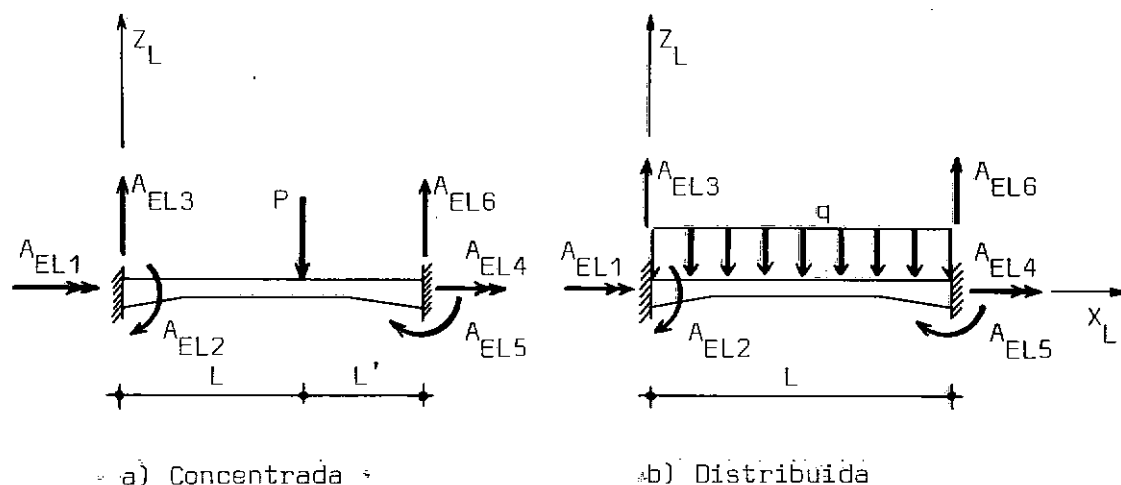


Fig. III-6 Cargas sobre vigas com mísulas

Carga uniformemente distribuída (fig. III-6 b):

$$A_1 = A_4 = 0 \quad A_2 = \frac{qL^2}{12} G_2 \quad A_5 = \frac{-qL^2}{12} G_5$$

$$A_3 = - (A_2 + A_5 + \frac{qL^2}{2}) / L \quad A_6 = - (A_3 + qL)$$

onde:

$$G_2 = \frac{6C_{55}B_2 - 3C_{25}B_5}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2} \quad G_5 = \frac{6C_{22}B_5 - 3C_{25}B_2}{4C_{22}C_{55} - C_{25}^2}$$

e:

$$B_2 = 1 - 6\lambda_a^2(1 - 2k_1 + 2k_2) + 8\lambda_a^3(1 - 3k_1 + 6k_2 - 3k_3) -$$

$$- 3(\lambda_a^4 - \lambda_b^4)(1 - 4k_1 + 12k_2 - 12k_3 + 4k_4) -$$

$$- 4\lambda_b^3(1 - 3k_1 + 6k_2 - 3k_3)$$

$$B_5 = 1 - 6\lambda_b^2(1 - 2k_1 + 2k_2) + 8\lambda_b^3(1 - 3k_1 + 6k_2 - 3k_3) -$$

$$- 3(\lambda_b^4 - \lambda_a^4)(1 - 4k_1 + 12k_2 - 12k_3 + 4k_4) -$$

$$- 4\lambda_a^3(1 - 3k_1 + 6k_2 - 3k_3)$$

$$k_4 = \frac{1}{c^4} \left[ -3 \log(c+1) + \frac{c(6+9c+2c^2)}{2(c+1)^2} \right]$$

Os demais coeficientes foram definidos no item (III-1.3 B).

### C - VIGA DE EIXO CIRCULAR E SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE

O problema de se calcular os esforços de engastamento perfeito deste tipo de viga é resolvido através do método dos esforços. O processo consiste em resolver o problema da determinação dos esforços na extremidade final da viga bi-engastada adotando-se como sistema principal a mesma viga com essa extremidade em balanço (fig. III-7). As reações no engaste são obtidas através das condições de equilíbrio da peça.

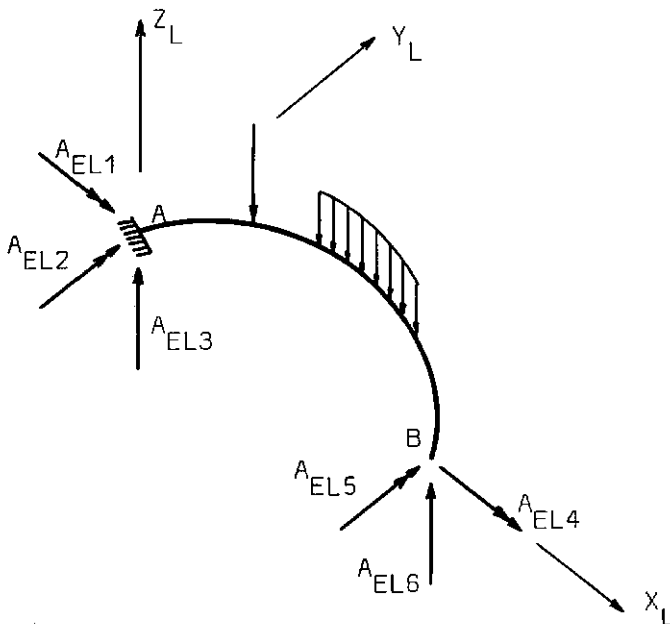


Fig. III-7 Esforços de engastamento perfeito

Conhecida a matriz de rigidez do extremo B (eq. III-6), tem-se:

$$\underline{A}_{ELb} = - \underline{S}_{VLbb} \underline{D}_{VLb} \quad (\text{III-12})$$

ou, na forma expandida:

$$\begin{Bmatrix} A_{EL4} \\ A_{EL5} \\ A_{EL6} \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} S_{VL44} & S_{VL45} & S_{VL46} \\ S_{VL54} & S_{VL55} & S_{VL56} \\ S_{VL64} & S_{VL65} & S_{VL66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{VL4} \\ D_{VL5} \\ D_{VL6} \end{Bmatrix}$$

onde os deslocamentos  $\underline{D}_{VL}$  são decorrentes do carregamento atuante sobre a viga e  $\underline{A}_{EL}$  são os esforços de engastamento perfeito procurados. Os valores de  $\underline{D}_{VL}$  são transcritos a seguir, de acordo com a referência (4).

Carga concentrada (fig. III-8):

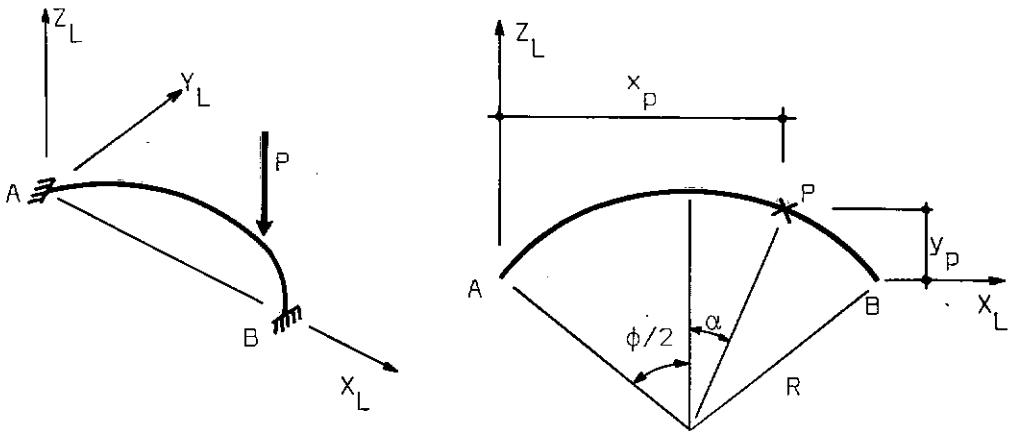


Fig. III-8 Carga concentrada

$$\begin{aligned}
D_{VL4} = & - \frac{PR^2}{GI_x} \left\{ (\sin^2(\frac{\phi}{2}) - \sin^2 \alpha) \frac{\sin \alpha}{2} + \right. \\
& + (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\phi}{2} - \alpha) \frac{\cos \alpha}{2} + \\
& + \sin \alpha - \sin(\frac{\phi}{2}) \left. \right\} + \\
& + \frac{PR^2}{EI_y} \left\{ (\sin^2(\frac{\phi}{2}) - \sin^2 \alpha) \frac{\sin \alpha}{2} + \right. \\
& + (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \alpha - \frac{\phi}{2}) \frac{\cos \alpha}{2} \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{VL5} = & \frac{PR^2}{GI_x} \left\{ (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \alpha - \frac{\phi}{2}) \frac{\sin \alpha}{2} - \right. \\
& - (\sin^2(\frac{\phi}{2}) - \sin^2 \alpha) \frac{\cos \alpha}{2} - \cos(\frac{\phi}{2}) + \cos \alpha \left. \right\} - \\
& - \frac{PR^2}{EI_y} \left\{ (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\phi}{2} - \alpha) \frac{\sin \alpha}{2} + \right. \\
& + (\sin^2 \alpha - \sin^2(\frac{\phi}{2})) \frac{\cos \alpha}{2} \left. \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{VL6} = & \frac{PR^3}{GI_x} \left\{ \sin(\frac{\phi}{2} - \alpha) + (\alpha - \frac{\phi}{2}) - \cos(\frac{\phi}{2}) \left[ (\sin^2(\frac{\phi}{2}) - \right. \right. \\
& - \sin^2 \alpha) \frac{\sin \alpha}{2} + (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \alpha - \\
& - \frac{\phi}{2}) \frac{\cos \alpha}{2} + \sin \alpha - \sin(\frac{\phi}{2}) - (\alpha - \frac{\phi}{2}) \cos \alpha \left. \right] + \\
& + \sin(\frac{\phi}{2}) \left[ (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \alpha - \frac{\phi}{2}) \cdot \right. \\
& \cdot (-\frac{\sin \alpha}{2}) - (\sin^2 \alpha - \sin^2(\frac{\phi}{2})) \frac{\cos \alpha}{2} + \cos(\frac{\phi}{2}) - \cos \alpha \left. \right] \left. \right\} \\
& + \frac{PR^3}{EI_y} \left\{ \sin(\frac{\phi}{2}) \left[ (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\phi}{2} - \alpha) \cdot \right. \right. \\
& \cdot \frac{\sin \alpha}{2} + (\sin^2 \alpha - \sin^2(\frac{\phi}{2})) \frac{\cos \alpha}{2} \left. \right] + \cos(\frac{\phi}{2}) \cdot \\
& \cdot \left[ (\sin^2(\frac{\phi}{2}) - \sin^2 \alpha) \frac{\sin \alpha}{2} + (\sin(\frac{\phi}{2}) \cos(\frac{\phi}{2}) - \right. \\
& - \sin \alpha \cos \alpha + \alpha - \frac{\phi}{2}) \frac{\cos \alpha}{2} \left. \right] \left. \right\}
\end{aligned}$$



Calculadas as ações na extremidade final através da eq. (III-12), as demais são determinadas como abaixo:

$$A_{EL1} = P y_p - A_{EL4}$$

$$A_{EL2} = L A_{EL6} - P x_p - A_{EL5}$$

$$A_{EL3} = P - A_{EL6}$$

sendo  $x_p$  e  $y_p$  as coordenadas do ponto de aplicação da carga.

Carga uniformemente distribuída total (fig. III-9):

$$D_{VL4} = \left( \frac{qR^3}{GI_x} - \frac{qR^3}{EI_y} \right) \left( \frac{\phi}{2} - \frac{\text{sen}\phi}{2} \right) \text{sen}\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$$D_{VL5} = \frac{qR^3}{GI_x} \left[ 2\text{sen}\left(\frac{\phi}{2}\right) - \left( \frac{\phi}{2} - \frac{\text{sen}\phi}{2} \right) \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) - \phi \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right] + \\ + \frac{qR^3}{EI_y} \left[ 2\text{sen}\left(\frac{\phi}{2}\right) - \left( \frac{\phi}{2} + \frac{\text{sen}\phi}{2} \right) \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]$$

$$D_{VL6} = - \frac{qR^4}{GI_x} \left( \frac{\phi^2}{2} - \phi \text{sen}\phi + \frac{\text{sen}^2\phi}{2} \right) - \frac{qR^4}{EI_y} \left( 2\text{sen}^2\left(\frac{\phi}{2}\right) - \right. \\ \left. - \frac{\text{sen}^2\phi}{2} \right)$$

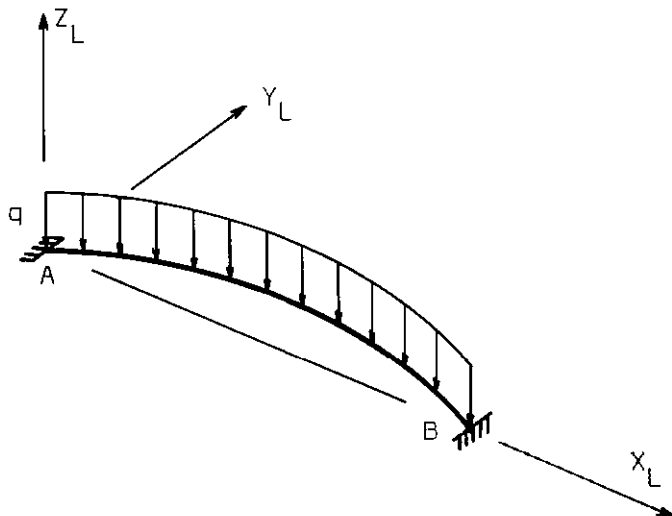


Fig. III-9 Carga uniformemente distribuída total

Os esforços no engaste da extremidade inicial A são:

$$A_{EL1} = qR\phi y_g - A_{EL4}$$

$$A_{EL2} = L A_{EL6} - A_{EL5} - qR\phi L/2$$

$$A_{EL3} = qR\phi - A_{EL6}$$

#### D - OUTROS TIPOS DE VIGAS

Os esforços de engastamento perfeito de outros tipos de vigas, que não as estudadas nos itens A, B e C anteriores, devem ser calculados à parte, e fornecidos diretamente ao programa de computador.

### III-2. PILARES

#### III-2.1 SISTEMA DE REFERÊNCIA LOCAL

O sistema de referência local de um pilar é constituído por três eixos  $X_L$   $Y_L$   $Z_L$  formando um triedro direto tal que a origem coincida com o extremo inferior do elemento,  $X_L$  e  $Y_L$  sejam paralelos às direções principais de inércia das seções transversais e  $Z_L$  contenha o eixo longitudinal da peça (fig. III-10).

#### III-2.2 GRAUS DE LIBERDADE

São doze os graus de liberdade das extremidades de um pilar considerado isoladamente (fig. III-10). Deste total, no entanto, apenas nove são independentes (ver item IV-3).

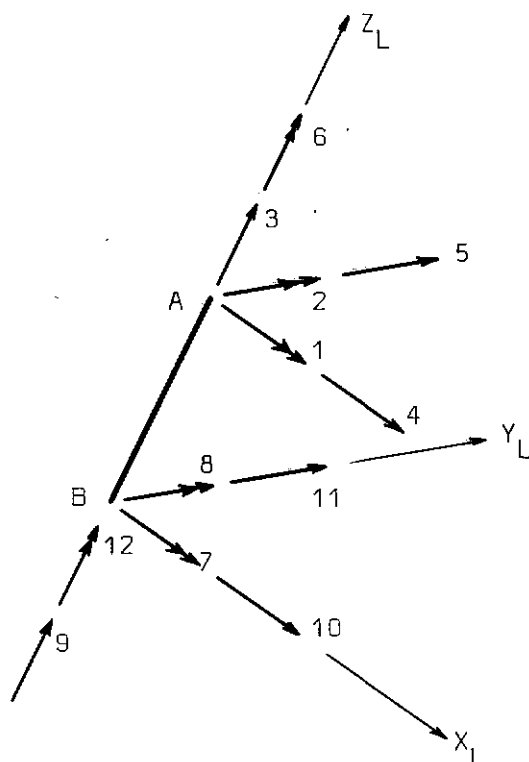


Fig. III-10 Sistema de referência local de pilar e graus de liberdade

### III-2.3 MATRIZES DE RIGIDEZ

#### A - PILAR DE EIXO RETO E SEÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE

Na página seguinte é apresentada a matriz de rigidez do pilar de eixo retilíneo e seção transversal constante, na qual acham-se os seguintes parâmetros:

$E$  - módulo de elasticidade longitudinal

$G$  - módulo de elasticidade transversal

$L$  - comprimento do pilar

$I_z$  - momento de inércia à torção

$I_x$  - momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo  $X_L$

$I_y$  - momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo  $Y_L$

$\tilde{S}_{PL} =$

$$\begin{bmatrix}
 \frac{3+\phi_y}{\phi_y} \frac{EI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^2} & 0 & \frac{3-\phi_y}{\phi_y} \frac{EI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^2} & 0 \\
 & \frac{3+\phi_x}{\phi_x} \frac{EI_y}{L} & 0 & \frac{-6}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3-\phi_x}{\phi_x} \frac{EI_y}{L} & 0 & \frac{6}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^2} & 0 & 0 \\
 & & \frac{EA_z}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA_z}{L} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & \frac{12}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^2} & 0 & \frac{-12}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^3} & 0 & 0 \\
 & & & & \frac{12}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^3} & 0 & \frac{6}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{-12}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^3} & 0 \\
 & & & & & \frac{GI_z}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_z}{L} \\
 & & & & & & \frac{3+\phi_y}{\phi_y} \frac{EI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{-6}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^2} & 0 \\
 & & & & & & & \frac{3+\phi_x}{\phi_x} \frac{EI_y}{L} & 0 & \frac{6}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^2} & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & \frac{EA_z}{L} & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & \frac{12}{\phi_x} \frac{EI_y}{L^3} & 0 & 0 \\
 & & & & & & & & & & \frac{12}{\phi_y} \frac{EI_x}{L^3} & 0 \\
 & & & & & & & & & & & \frac{GI_z}{L}
 \end{bmatrix}$$

simétrica

(III-13)

$$\phi_x = 1 + \frac{12 EI_y}{L^2 GA_x}$$

$$\phi_y = 1 + \frac{12 EI_x}{L^2 GA_y}$$

$A_x$  - área da seção transversal multiplicada pelo coeficiente de forma para o esforço cortante na direção  $X_L$

$A_y$  - idem, na direção  $Y_L$

$A_z$  - área da seção transversal

## B - OUTROS TIPOS DE PILARES

Pilares de seção transversal variável podem ser considerados na análise, desde que se conheça a matriz de flexibilidade da extremidade superior A do elemento. O processo de cálculo é análogo ao utilizado para as vigas de eixo circular (item III-1.3 C).

Seja  $\underline{F}_{PLaa}$  a matriz de flexibilidade do extremo superior A do pilar engastado na base (fig. III-11). A matriz de rigidez procurada pode ser escrita:

$$\underline{S}_{PL} = \begin{bmatrix} \underline{S}_{PLaa} & \underline{S}_{PLab} \\ \underline{S}_{PLba} & \underline{S}_{PLbb} \end{bmatrix} \quad (\text{III-14})$$

onde a submatriz  $\underline{S}_{PLaa}$  é obtida por inversão de  $\underline{F}_{PLaa}$ :

$$\underline{S}_{PLaa} = \underline{F}_{PLaa}^{-1} \quad (\text{III-15})$$

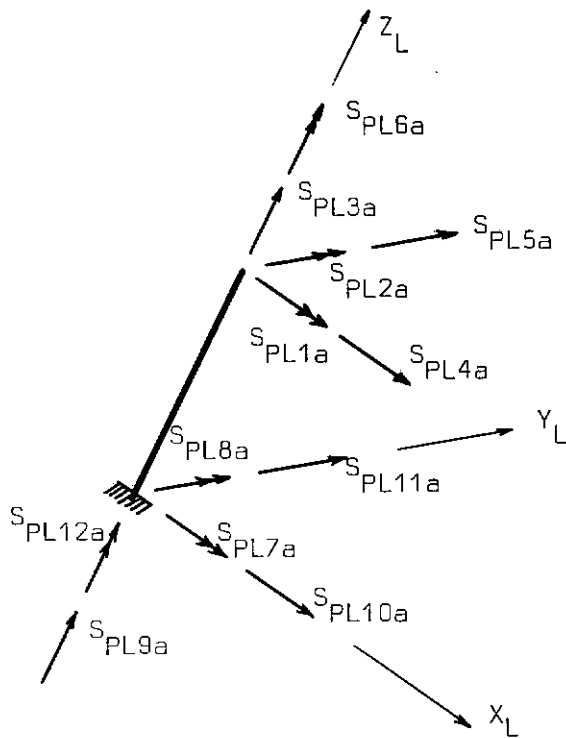


Fig. III-11 Sistema principal para o cálculo da matriz de rigidez de pilar

A submatriz  $S_{PLba}$  é obtida pela condição de equilíbrio estático do pilar da figura (III-11), quando se lhe impõe um deslocamento unitário na direção  $k$  (com  $k=1,2,3,\dots,6$ ) mantendo-se os demais nulos:

$$\begin{aligned}
 S_{PL7k} &= L S_{PL5k} - S_{PL1k} \\
 S_{PL8k} &= -L S_{PL4k} - S_{PL2k} \\
 S_{PL9k} &= -S_{PL3k} \\
 S_{PL10k} &= -S_{PL4k} \\
 S_{PL11k} &= -S_{PL5k} \\
 S_{PL12k} &= S_{PL6k}
 \end{aligned}
 \quad \begin{aligned}
 & \\
 & \\
 & \text{p/ } k=1,2,\dots,6 \\
 & \\
 & \\
 & \text{(III-16)}
 \end{aligned}$$

Como a matriz  $S_{PL}$  é simétrica, tem-se:

$$S_{PLab} = S_{PLba} \quad (III-17)$$

Finalmente, para a determinação da submatriz  $S_{PLbb}$  re-escrevem-se as eqs. (III-16) da seguinte forma:

$$\begin{aligned} S_{PL7k} &= L S_{PL5k} - S_{PL1k} \\ S_{PL8k} &= -L S_{PL4k} - S_{PL2k} \\ S_{PL9k} &= -S_{PL3k} \\ S_{PL10k} &= -S_{PL4k} \\ S_{PL11k} &= -S_{PL5k} \\ S_{PL12k} &= -S_{PL6k} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \\ \\ p/ \ k=7,8,\dots,12 \\ \\ \\ \end{array} \quad (III-18)$$

#### III-2.4 ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO

Embora não haja nenhuma limitação imposta pelo método de análise, no presente trabalho não são considerados pilares carregados, e por conseguinte não existem cálculos de esforços de engastamento perfeito. Estes, entretanto, sempre poderão ser levados em conta na análise, desde que calculados à parte e aplicados sobre os nós e andares da estrutura.

Na programação para computador, são considerados automaticamente os efeitos do peso próprio das colunas (caso se deseje), supondo-se de modo aproximado que a metade desse peso a tue verticalmente em cada extremidade das mesmas.

## IV - TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE REFERÊNCIA

### IV-1 GENERALIDADES

No capítulo precedente foram estabelecidas as propriedades dos elementos vigas e colunas em seus respectivos sistemas de referência locais. A seguir serão estudadas as transformações que levam aquelas propriedades (matrizes de rigidez, esforços e deslocamentos) ao sistema de referência global, a fim de se poder estabelecer as condições de equilíbrio da estrutura completa.

### IV-2 VIGAS

#### IV-2.1 RELAÇÕES GEOMÉTRICAS

Considere-se o caso de uma viga AB excentricamente conectada aos pontos nodais J e K respectivamente, conforme ilustrado na figura (IV-1). Nesta figura todos os parâmetros são apresentados com o sinal positivo. Assim, os segmentos  $x_i$  e  $x_f$  são positivos quando acrescentados ao segmento AB, e  $y_i$  e  $y_f$  são positivos quando situados na região positiva do eixo  $y_L$ .

Conhecidas as coordenadas  $(x_j, y_j)$  e  $(x_k, y_k)$  dos pontos nodais, bem como as excentricidades  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $x_f$  e  $y_f$ , os demais elementos são calculados como se segue:

$$c = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2 - (y_f - y_i)^2}$$

$$L = c - (x_i + x_f)$$

(IV-1)

$$\text{sen} \alpha = \frac{(y_k - y_j) c + (y_f - y_i) (x_k - x_j)}{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}$$



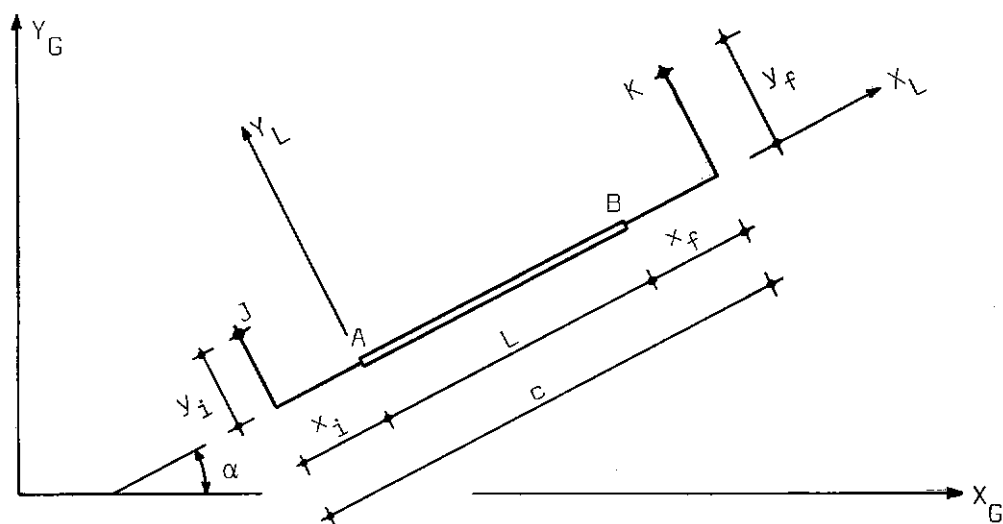


Fig. IV-1 Viga com excentricidade em relação aos pontos nodais J e K

$$\cos \alpha = \frac{(x_k - x_j) c - (y_f - y_i)(y_k - y_j)}{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2} \quad \begin{array}{l} \text{(IV-1)} \\ \text{(cont.)} \end{array}$$

É comum a designação de "trechos rígidos" para os elementos JCA e BDK da figura acima, por se comportarem como corpos rígidos na transmissão de esforços e deslocamentos entre os extremos da viga e os pontos nodais.

#### IV-2.2 MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO

A matriz de transformação relaciona os deslocamentos em cada extremo da viga A e B com os dos pontos nodais J e K respectivamente.

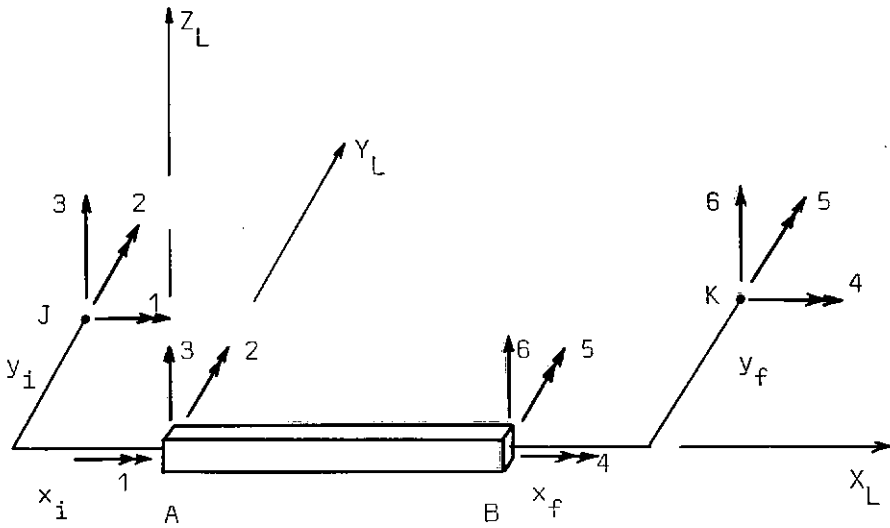


Fig. IV-2 Deslocamentos dos extremos da viga A e B e dos pontos nodais J e K

Observando-se a figura (IV-2) acima, obtém-se:

$$\begin{Bmatrix} D_{VL1} \\ D_{VL2} \\ D_{VL3} \\ D_{VL4} \\ D_{VL5} \\ D_{VL6} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_i & -x_i & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_f & x_f & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{VT1} \\ D_{VT2} \\ D_{VT3} \\ D_{VT4} \\ D_{VT5} \\ D_{VT6} \end{Bmatrix} \quad (IV-3)$$

ou, em forma matricial,

$$\underline{D}_{VL} = \underline{T}_V \underline{D}_{VT} \quad (IV-4)$$

onde  $\underline{D}_{VL}$  são os deslocamentos dos pontos A e B, e  $\underline{D}_{VT}$  são os dos nós J e K.

Analogamente é possível expressar os esforços sobre os nós J e K em função dos esforços atuantes em A e B, achando-se a seguinte equação:

$$\begin{Bmatrix} A_{VT1} \\ A_{VT2} \\ A_{VT3} \\ A_{VT4} \\ A_{VT5} \\ A_{VT6} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -x_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -y_f \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x_f \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{VL1} \\ A_{VL2} \\ A_{VL3} \\ A_{VL4} \\ A_{VL5} \\ A_{VL6} \end{Bmatrix} \quad (IV-5)$$

ou seja,

$$\underline{A}_{VT} = \underline{T}_V^t \underline{A}_{VL} \quad (IV-6)$$

onde  $\underline{A}_{VT}$  são os esforços sobre os pontos nodais J e K, e  $\underline{A}_{VL}$  os esforços sobre as extremidades A e B da viga (fig. IV-2).

Substituindo-se as eqs. (IV-4) e (IV-6) na eq. (III-1), vem:

$$\underline{A}_{VT} = \underline{T}_V^t \underline{S}_{VL} \underline{T}_V \underline{D}_{VT} \quad (IV-7)$$

que relaciona esforços e deslocamentos nos pontos nodais J e K, quando a viga é excentricamente conectada aos mesmos.

#### IV-2.3 MATRIZ DE ROTAÇÃO

Através da matriz de rotação são obtidos os deslocamentos dos pontos nodais J e K nas direções dos eixos do sistema de referência global (ver fig. IV-1):

$$\begin{Bmatrix} D_{VT1} \\ D_{VT2} \\ D_{VT3} \\ D_{VT4} \\ D_{VT5} \\ D_{VT6} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{VG1} \\ D_{VG2} \\ D_{VG3} \\ D_{VG4} \\ D_{VG5} \\ D_{VG6} \end{Bmatrix} \quad (IV-8)$$

ou seja,

$$\underline{D}_{VT} = \underline{R}_V \underline{D}_{VG} \quad (IV-9)$$

onde  $\underline{D}_{VG}$  é o vetor dos deslocamentos dos nós J e K no sistema de referência global.

Os esforços atuantes em J e K no sistema de referência global são expressos em função de  $\underline{A}_{VT}$  pela equação:

$$\begin{Bmatrix} A_{VG1} \\ A_{VG2} \\ A_{VG3} \\ A_{VG4} \\ A_{VG5} \\ A_{VG6} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{VT1} \\ A_{VT2} \\ A_{VT3} \\ A_{VT4} \\ A_{VT5} \\ A_{VT6} \end{Bmatrix} \quad (IV-10)$$

isto é,

$$\underline{A}_{VG} = \underline{R}_V^t \underline{A}_{VT} \quad (IV-11)$$

As equações (IV-9) e (IV-11) levadas na equação (IV-7) permite obter-se:

$$\underline{A}_{VG} = \underline{R}_V^t \underline{T}_V^t \underline{S}_{VL} \underline{T}_V \underline{R}_V \underline{D}_{VG} \quad (IV-12)$$

que relaciona esforços e deslocamentos no referencial global.

Fazendo-se:

$$\underline{S}_{VG} = \underline{R}_V^t \underline{T}_V^t \underline{S}_{VL} \underline{T}_V \underline{R}_V \quad (\text{IV-13})$$

a eq. (IV-12) fica:

$$\underline{A}_{VG} = \underline{S}_{VG} \underline{D}_{VG} \quad (\text{IV-14})$$

### IV-3 PILARES

#### IV-3.1 RELAÇÕES GEOMÉTRICAS

Considere-se o pilar da figura (IV-3), de extremidades A e B respectivamente conectadas aos pontos nodais J e K através dos trechos rígidos ACJ e BDK.

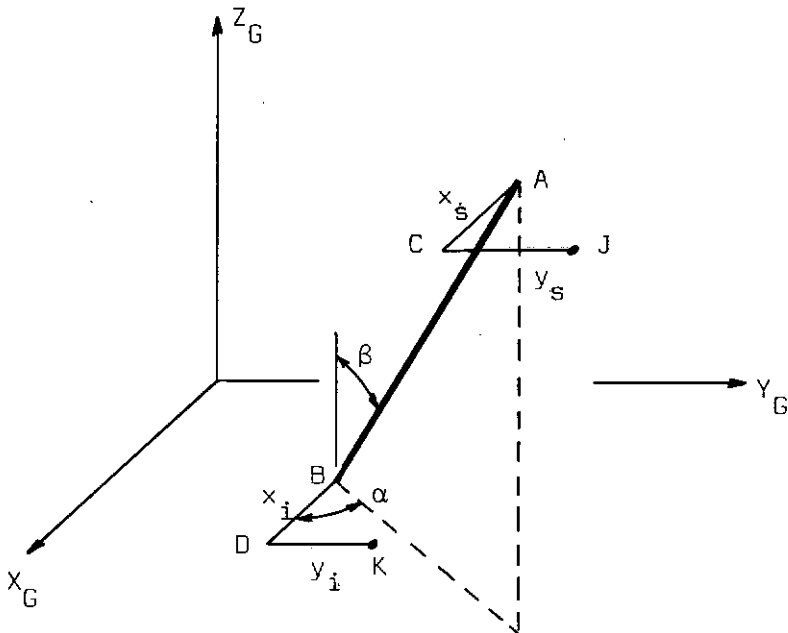


Fig. IV-3 Pilar AB com excentricidade em relação aos pontos nodais J e K

Admitindo-se conhecidas as coordenadas  $(x_j, y_j)$  do nó J,  $(x_k, y_k)$  do nó K, a altura do pé direito  $h$  do pavimento a que pertence o pilar, e ainda os valores de  $x_i, y_i, x_s$  e  $y_s$ , calculam-se os seguintes parâmetros:

$$x_a = x_j - x_s$$

$$y_a = y_j - y_s$$

$$x_b = x_k - x_i$$

$$y_b = y_k - y_i$$

$$L = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + h^2}$$

$$\text{sen} \alpha = \frac{y_a - y_b}{\sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}}$$

$$\text{cos} \alpha = \frac{x_a - x_b}{\sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}}$$

p/ pilar inclinado

$$\text{sen} \alpha = 0$$

p/ pilar vertical

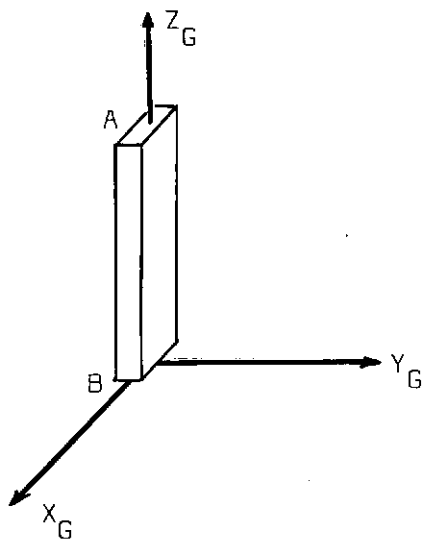
$$\text{cos} \alpha = 1$$

$$\text{sen} \beta = \frac{\sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}}{L}$$

$$\text{cos} \beta = \frac{h}{L} \quad (\text{IV-15})$$

onde  $(x_a, y_a)$  e  $(x_b, y_b)$  são respectivamente as coordenadas dos pontos A e B em projeção sobre o plano horizontal  $X_G Y_G$ ,  $L$  é o comprimento do pilar e  $\alpha$  e  $\beta$  são os ângulos mostrados na figura (IV-3).

Para a definição da posição dos eixos  $X_L$  e  $Y_L$  (direções principais de inércia das seções transversais) no referencial global deve-se observar a figura (IV-4), onde além dos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  (já definidos) é mostrado o ângulo  $\gamma$ .



a) Posição inicial

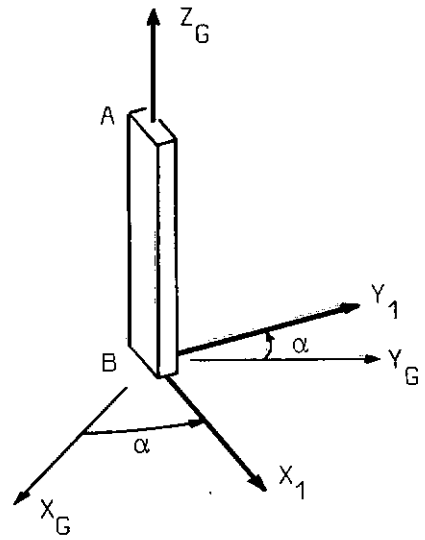
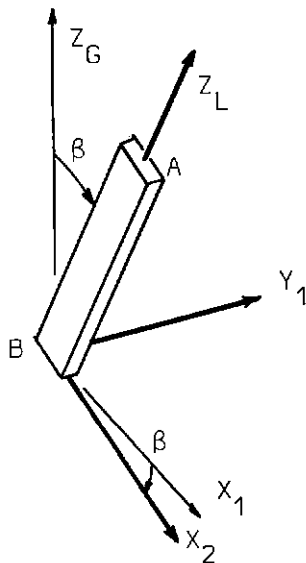
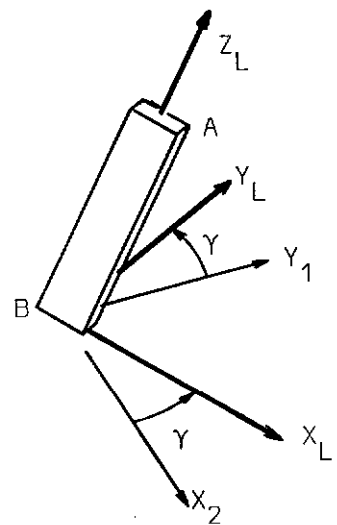
b) Rotação  $\alpha$ c) Rotação  $\beta$ d) Rotação  $\gamma$ 

Fig. IV-4      Angulos  $\alpha, \beta$  e  $\gamma$  da posição do pilar em relação ao referencial global

É importante ser observado que, ao se estudar o pilar como um elemento integrante do modelo estrutural e ao se submeter suas extremidades aos deslocamentos da estrutura, os deslocamentos de corpo rígido do andar correspondente ao nó inferior do pilar não causam esforços no mesmo. Isto se deve ao fato de que os andares situados acima daquele movimentam-se em conjunto, pelo conceito de deslocamentos de bloco de andares. Portanto, enquanto a matriz de rigidez de um pilar é de ordem  $12 \times 12$  no sistema de referência local (eq. IV-24), passa a ser de ordem  $9 \times 9$  após as transformações indicadas nos próximos dois itens.

Esta redução de ordem da matriz de rigidez é de grande importância na montagem da matriz da estrutura, como se verá no Capítulo V. A figura abaixo ilustra os 9 graus de liberdade de um pilar, considerados no sistema de referência global.

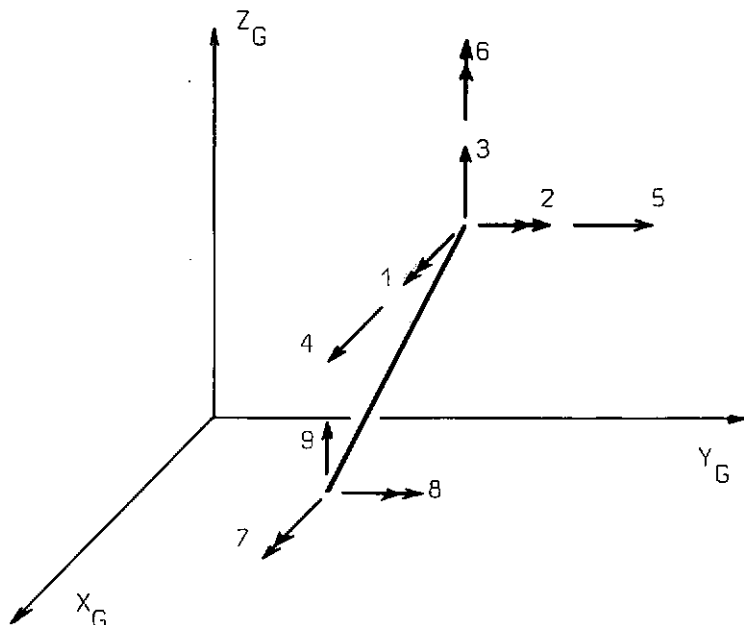


Fig. IV-5 Graus de liberdade de um pilar, no sistema de referência global



## IV-3.2 MATRIZES DE ROTAÇÃO

Os deslocamentos dos pontos A e B do pilar no sistema de referência local ( $\underline{D}_{PL}$ ) podem ser calculados em função dos deslocamentos destes mesmos pontos no referencial global ( $\underline{D}_{PR}$ ) através do seguinte produto matricial:

$$\underline{D}_{PL} = \underline{R}_\gamma \underline{R}_\beta \underline{R}_\alpha \underline{D}_{PR} \quad (\text{IV-16})$$

onde  $\underline{R}_\gamma$ ,  $\underline{R}_\beta$  e  $\underline{R}_\alpha$  são as matrizes de rotação definidas abaixo.

$$\underline{R}_\gamma = \begin{bmatrix} \underline{R}_\gamma^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{R}_\gamma^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{R}_\gamma^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{R}_\gamma^1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-17})$$

com

$$\underline{R}_\gamma^1 = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-18})$$

$$\underline{R}_\beta = \begin{bmatrix} \underline{R}_\beta^1 & \underline{R}_\beta^2 & 0 \\ \underline{R}_\beta^2 & \underline{R}_\beta^1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{R}_\beta^1 \\ 0 & 0 & \underline{R}_\beta^2 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-19})$$

com

$$\underline{R}_\beta^1 = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \underline{R}_\beta^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-20})$$

e

$$\underline{R}_\alpha = \begin{bmatrix} \underline{R}_\alpha^1 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{R}_\alpha^1 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{R}_\alpha^1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-21})$$

com

$$\underset{\sim}{R}_{\alpha}^1 = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-22})$$

Da mesma forma, pode-se expressar os esforços nos extremos A e B do pilar segundo os eixos do referencial global em função dos esforços medidos no referencial local:

$$\underset{\sim}{A}_{PR} = \underset{\sim}{R}_{\alpha}^t \underset{\sim}{R}_{\beta}^t \underset{\sim}{R}_{\gamma}^t \underset{\sim}{A}_{PL} \quad (\text{IV-23})$$

A relação entre esforços e deslocamentos do pilar no referencial local é:

$$\underset{\sim}{A}_{PL} = \underset{\sim}{S}_{PL} \underset{\sim}{D}_{PL} \quad (\text{IV-24})$$

onde  $\underset{\sim}{S}_{PL}$  é a matriz de rigidez do pilar (ver item III-2.3), de ordem  $12 \times 12$ . Esta última equação pode tomar outra forma, pela consideração das eqs. (IV-16) e (IV-23), ou seja:

$$\underset{\sim}{A}_{PR} = \underset{\sim}{R}_{\alpha}^t \underset{\sim}{R}_{\beta}^t \underset{\sim}{R}_{\gamma}^t \underset{\sim}{S}_{PL} \underset{\sim}{R}_{\gamma} \underset{\sim}{R}_{\beta} \underset{\sim}{R}_{\alpha} \underset{\sim}{D}_{PR} \quad (\text{IV-25})$$

onde os vetores  $\underset{\sim}{A}_{PR}$  e  $\underset{\sim}{D}_{PR}$  são numerados de acordo com a figura (IV-5).

Pode-se ainda simplificar a equação (IV-25) escrevendo-se:

$$\underset{\sim}{A}_{PR} = \underset{\sim}{S}_{PR} \underset{\sim}{D}_{PR} \quad (\text{IV-26})$$

onde

$$\underset{\sim}{S}_{PR} = \underset{\sim}{R}_{\alpha}^t \underset{\sim}{R}_{\beta}^t \underset{\sim}{R}_{\gamma}^t \underset{\sim}{S}_{PL} \underset{\sim}{R}_{\gamma} \underset{\sim}{R}_{\beta} \underset{\sim}{R}_{\alpha} \quad (\text{IV-27})$$

é a matriz de rigidez do pilar para as ações no referencial global. Por ser a matriz de rotação  $\underset{\sim}{R}_{\beta}$  retangular de ordem

12 x 9, o produto matricial indicado nesta última equação implica também a redução de ordem da matriz de rigidez do pilar, de que já se falou ao final do item (IV-3.1)

#### IV-3.3 MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO

Através da matriz de transformação relacionam-se os deslocamentos independentes dos nós J e K (figura IV-3) e também os de corpo rígido do andar correspondente ao nó J (medidos na interseção de seu plano com o eixo  $Z_G$ ) com os deslocamentos das extremidades A e B do pilar (estes últimos mostrados na figura IV-5).

A transformação ora em estudo envolve, portanto, nove deslocamentos.

Conhecidos os valores das excentricidades ( $x_i, y_i, x_s$  e  $y_s$ ) e ainda as coordenadas horizontais do ponto A, pode-se escrever:

$$\underline{D}_{PR} = \underline{T}_P \underline{D}_{PG} \quad (IV-28)$$

onde o vetor  $\underline{D}_{PR}$  inclui os deslocamentos independentes dos nós J e K e os de corpo rígido do andar do nó J, e  $\underline{T}_P$  é a seguinte matriz de transformação:

$$\underline{T}_P = \begin{bmatrix} \underline{T}_{Ps} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{T}_{Pa} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{T}_{Pi} \end{bmatrix} \quad (\text{IV-29})$$

com:

$$\underline{T}_{Ps} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -y_s & x_s & 1 \end{bmatrix}$$

$$\underline{T}_{Pa} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -y_a \\ 0 & 1 & x_a \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{IV-30})$$

e

$$\underline{T}_{Pi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -y_i & x_i & 1 \end{bmatrix}$$

Os respectivos esforços são transformados como se segue:

$$\underline{A}_{PG} = \underline{T}_P^t \underline{A}_{PR} \quad (\text{IV-31})$$

As equações (IV-28) e (IV-31) levadas na equação (IV-26) fornecem:

$$\underline{A}_{PG} = \underline{T}_P^t \underline{S}_{PR} \underline{T}_P \underline{D}_{PR} \quad (\text{IV-32})$$

ou seja, fazendo-se:

$$\underline{S}_{PG} = \underline{T}_P^t \underline{S}_{PR} \underline{T}_P \quad (\text{IV-33})$$

escreve-se:

$$\underline{\tilde{A}}_{PG} = \underline{\tilde{S}}_{PG} \underline{\tilde{D}}_{PG} \quad (IV-34)$$

onde  $\underline{\tilde{S}}_{PG}$  é a matriz de rigidez do pilar para ações no sistema de referência global, já incluídas as transformações devidas às excentricidades de seus extremos em relação aos pontos nodais. Combinando-se as equações (IV-27) e (IV-33) pode-se expressar esta matriz diretamente em função de  $\underline{\tilde{S}}_{PL}$ :

$$\underline{\tilde{S}}_{PG} = \begin{bmatrix} \underline{T}_P^t & \underline{R}_\alpha^t & \underline{R}_\beta^t & \underline{R}_\gamma^t \\ \underline{\tilde{S}}_{PL} & \underline{R}_\gamma & \underline{R}_\beta & \underline{R}_\alpha & \underline{T}_P \end{bmatrix} \quad (IV-35)$$

## V - ANÁLISE DA ESTRUTURA

## V-1. MÉTODO DE ANÁLISE

A estrutura é analisada através do método da rigidez, tendo como incógnitas os deslocamentos definidos no item II-3.

O sistema de equações que traduz o equilíbrio estático da estrutura sob a ação de um determinado carregamento é:

$$\underline{S} \underline{D} = \underline{A} \quad (V-1)$$

onde  $\underline{S}$  é a matriz de rigidez da estrutura e  $\underline{D}$  e  $\underline{A}$  são respectivamente os vetores dos deslocamentos e das cargas.

Pode-se desdobrar a equação (V-1) na seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \underline{S}_{ii} & \underline{S}_{ib} \\ \underline{S}_{bi} & \underline{S}_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{D}_i \\ \underline{D}_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \underline{A}_i \\ \underline{A}_b \end{Bmatrix} \quad (V-2)$$

onde:

$\underline{D}_i$  são os deslocamentos independentes dos nós;

$\underline{D}_b$  são os deslocamentos dos blocos de andares;

$\underline{A}_i$  são as cargas sobre os nós nas direções dos deslocamentos independentes dos mesmos;

e  $\underline{A}_b$  são as cargas sobre os blocos de andares,

com  $\underline{A}_i = \underline{A}_a - \underline{A}_{EG}$

sendo  $\underline{A}_a$  as cargas externas diretamente aplicadas aos nós

e  $\underline{A}_{EG}$  os esforços de engastamento perfeito das vigas carregadas

A equação (V-2), na forma em que foi exposta, serve apenas para introduzir a noção de destaque dos vetores  $\underline{D}_i$  e  $\underline{D}_b$  no vetor  $\underline{D}$ . Na realidade, deve-se dispensar maior atenção à disposição das incógnitas neste vetor, a fim de se reduzir, no que for possível, a quantidade de coeficientes não nulos da matriz  $\underline{S}$ , no que reside a chave para a economia de memória de computador, redução do tempo de processamento e conseqüente alívio no custo da análise. Para tanto admita-se inicialmente que os andares sejam numerados na ordem crescente a partir do topo para a base do edifício (fig. V-1), e que o vetor  $\underline{D}$  seja composto como na expressão seguinte:

$$\{\underline{D}\} = \{\underline{D}_1 \ \underline{D}_2 \ \underline{D}_3 \ \underline{D}_4 \ \cdots \ \underline{D}_{2n-1} \ \underline{D}_{2n} \ \cdots \ \underline{D}_{2p-1} \ \underline{D}_{2p} \ \underline{D}_{2p+1}\} \quad (V-3)$$

onde os vetores com índices ímpares tais como  $\underline{D}_{2n-1}$  representam os deslocamentos  $\underline{D}_i$  dos nós do andar  $\underline{n}$ , os vetores com índices pares tais como  $\underline{D}_{2n}$  representam os deslocamentos  $\underline{D}_b$  do andar  $\underline{n}$ , e  $\underline{p}$  é o número de pavimentos do edifício. O último vetor,  $\underline{D}_{2p+1}$  representa os deslocamentos  $\underline{D}_i$  dos nós correspondentes aos apoios da base da estrutura. Isto equivale a reordenar a equação (V-2) com:

$$\begin{aligned} i &= 2n-1 & \text{para } n &= 1, 2, \dots, p+1 \\ \text{e} \quad b &= 2n & \text{para } n &= 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

Observando, agora, que em virtude do conceito de deslocamentos de bloco de andares não há interação dos deslocamentos  $\underline{D}_i$  (ou das ações  $\underline{A}_i$ ) de um andar  $\underline{n}$  com as ações  $\underline{A}_b$  (ou com os deslocamentos  $\underline{D}_b$ ) do andar seguinte, chega-se finalmente ao sistema de equações (V-4) da página seguinte, onde para maior clareza as submatrizes nulas não estão representadas. Desta expressão conclui-se que a matriz de rigidez  $\underline{S}$  apresenta-se inicialmente como na forma de "degraus", porém as submatrizes  $\underline{S}_{13}$ ,  $\underline{S}_{35}$ ,  $\underline{S}_{57}$  e etc. podem conferir a cada "degrau" a característica adicional de faixa, isto dependendo da numeração dos

$$\left[ \begin{array}{ccccccccc}
 \underline{s}_{11} & \underline{s}_{12} & \underline{s}_{13} & & & & & & \\
 \underline{s}_{21} & \underline{s}_{22} & \underline{s}_{23} & & & & & & \\
 \underline{s}_{31} & \underline{s}_{32} & \underline{s}_{33} & \underline{s}_{34} & \underline{s}_{35} & & & & \\
 & & \underline{s}_{43} & \underline{s}_{44} & \underline{s}_{45} & & & & \\
 & & \underline{s}_{53} & \underline{s}_{54} & \underline{s}_{55} & \underline{s}_{56} & \underline{s}_{57} & & \\
 & & & \underline{s}_{65} & \underline{s}_{66} & \underline{s}_{67} & & & \\
 & & & \underline{s}_{75} & \underline{s}_{76} & \underline{s}_{77} & \cdots & & \\
 & & & & \cdots & \cdots & \cdots & & \\
 & & & & & \cdots & \underline{s}_{2p-1,2p-1} & \underline{s}_{2p-1,2p} & \underline{s}_{2p-1,2p+1} \\
 & & & & & & \underline{s}_{2p,2p-1} & \underline{s}_{2p,2p} & \underline{s}_{2p,2p+1} \\
 & & & & & & \underline{s}_{2p+1,2p-1} & \underline{s}_{2p+1,2p} & \underline{s}_{2p+1,2p+1}
 \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{c} \underline{D}_1 \\ \underline{D}_2 \\ \underline{D}_3 \\ \underline{D}_4 \\ \underline{D}_5 \\ \underline{D}_6 \\ \underline{D}_7 \\ \cdots \\ \underline{D}_{2p-1} \\ \underline{D}_{2p} \\ \underline{D}_{2p+1} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \\ \underline{A}_3 \\ \underline{A}_4 \\ \underline{A}_5 \\ \underline{A}_6 \\ \underline{A}_7 \\ \cdots \\ \underline{A}_{2p-1} \\ \underline{A}_{2p} \\ \underline{A}_{2p+1} \end{array} \right\} \quad (V-4) \quad 55$$



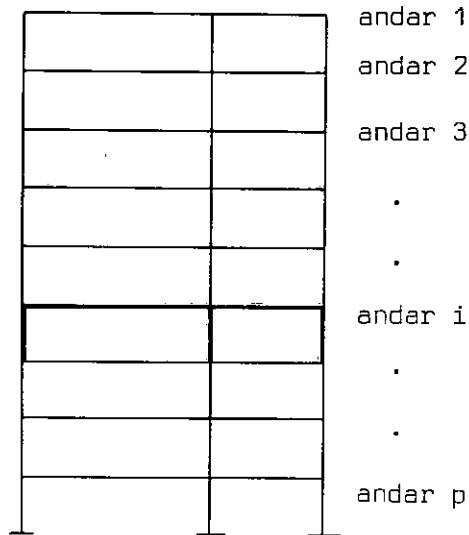


Fig.V-1 Numeração dos andares, mostrando-se os elementos estruturais do andar  $i$

pontos nodais e da disposição dos pilares na estrutura.

## V-2. MONTAGEM E RESOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES

Dentre os métodos diretos para resolução de sistemas de equações, escolheu-se o da eliminação, de Gauss.

Para a montagem da matriz de rigidez  $\underline{S}$  e do vetor de cargas  $\underline{A}$  da equação (V-4), é importante salientar-se que:

- As matrizes de rigidez das vigas (eq. IV-13) de um andar  $\underline{n}$  contribuem para a formação da submatriz  $\underline{S}_{2n-1, 2n-1}$ ;
- As matrizes de rigidez dos pilares (eq. IV-35) do mesmo andar contribuem na formação das submatrizes:

$$\begin{array}{ccc}
 \underline{S}_{2n-1,2n-1} & \underline{S}_{2n-1,2n} & \underline{S}_{2n-1,2n+1} \\
 \underline{S}_{2n,2n-1} & \underline{S}_{2n,2n} & \underline{S}_{2n,2n+1} \\
 \underline{S}_{2n+1,2n-1} & \underline{S}_{2n+1,2n} & \underline{S}_{2n+1,2n+1}
 \end{array}$$

- c) Os esforços de engastamento perfeito das vigas somam-se (como cargas equivalentes sobre os nós) aos valores das ações  $\underline{A}_{2n-1}$ , ainda para o mesmo andar  $\underline{n}$ ;
- d) As cargas diretamente aplicadas sobre os blocos de andares compõem o vetor  $\underline{A}_{2n}$ .

Na programação automática elaborada no presente estudo, a impossibilidade de se manter na memória principal do computador, de uma só vez, toda a matriz de rigidez e vetor de cargas de uma estrutura de grande porte obrigou a uma subdivisão do sistema de equações em "blocos", deixando-se permanecer na memória apenas um destes de cada vez, em etapas sucessivas, enquanto os demais são armazenados em memória auxiliar. Para a redução da quantidade de acessos a essa memória auxiliar, verificou-se ser conveniente a reunião das fases de montagem e de resolução do sistema de equações, ou seja, para cada "bloco" de equações montado procede-se à "triangularização" da matriz de rigidez e modificação do vetor de cargas. O exposto nos itens a e d anteriores foi sugestivo na escolha dos "blocos" de equações, como se verá a seguir.

Forma-se inicialmente a matriz de rigidez do primeiro andar da estrutura, que é a seguinte:

$$\begin{bmatrix}
 \underline{S}_{11} & \underline{S}_{12} & \underline{S}_{13} \\
 & \underline{S}_{22} & \underline{S}_{23} \\
 (\text{sim.}) & & \underline{S}_{33}^1
 \end{bmatrix} \quad (V-5)$$

onde o índice superior (1) na última submatriz denota que não estão nela incluídos os coeficientes de rigidez dos elementos do segundo andar. A seguir procede-se à "triangularização" da matriz (V-5) pelo método de Gauss, com exceção da submatriz  $S_{33}^1$ , e armazena-se em memória auxiliar o resultado desta operação, ou seja, as submatrizes  $\tilde{S}_{11}$ ,  $\tilde{S}_{12}$ ,  $\tilde{S}_{13}$ ,  $\tilde{S}_{22}$  e  $\tilde{S}_{23}$  modificadas.

É claro que a simetria da matriz de rigidez  $S$  permite que se deixe de montar na memória do computador os coeficientes situados abaixo da diagonal principal, e que são virtualmente anulados durante o processo. A figura (V-2) ilustra este fato, mostrando de forma esquemática as posições de memória onde são armazenados os coeficientes de rigidez e vetor de carregamento, e esclarecendo também de que modo é considerada a característica de faixa da matriz de um andar.

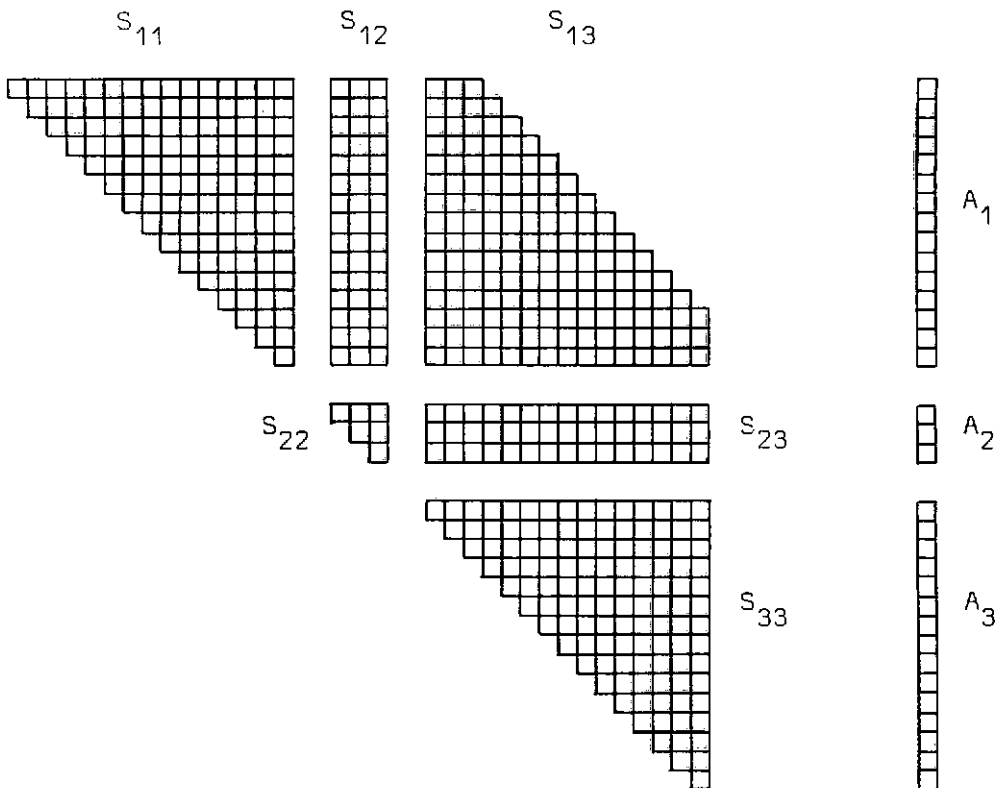


Fig V-2 Esquema do armazenamento das equações do 1º andar (válido para os demais andares)

Em seguida efetua-se a montagem da matriz de rigidez do segundo andar:

$$\begin{bmatrix} \underline{S}_{33} & \underline{S}_{34} & \underline{S}_{35} \\ & \underline{S}_{44} & \underline{S}_{45} \\ (\text{sim.}) & & \underline{S}_{55}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{V-6})$$

adicionando-se à  $\underline{S}_{33}$  a influência do andar anterior, contida na matriz  $\underline{S}_{33}^1$  modificada. O processo é repetido sucessivamente até o último andar, quando então as incógnitas  $\underline{D}$  são calculadas a partir da última equação, por um procedimento de retro substituição, nas equações, dos valores encontrados. Nesta última fase os "blocos" de equações modificadas são novamente trazidos para a memória principal do computador, lidos da memória auxiliar.

Paralelamente às operações acima descritas, efetua-se também a montagem e as modificações necessárias do vetor de carregamento da estrutura.

### V-2.1 COMENTÁRIOS

Alguns aspectos abordados no presente Capítulo carecem de observações, como as que se seguem:

- a) O armazenamento dos coeficientes da equação (V-4) em um arranjo unidimensional (vetor) na memória central do computador facilita o tratamento da matriz de rigidez  $\underline{S}$  com largura de faixa variável (fig. V-2).
- b) Embora não se tenha citado este fato no item (V-2) anterior, por simplicidade, pode-se analisar uma mesma estrutura submetida a vários casos de carregamento, montando-se na memória os respectivos vetores  $\underline{A}$  de uma só vez.

- c) Após calculadas as incógnitas  $\underline{D}$ , estas ocupam as mesmas posições de memória do vetor de carregamento  $\underline{A}$ .
- d) Na programação, não foi necessário recorrer-se a processos de armazenamento dos coeficientes das equações que utilizam "técnicas de esparsidade", pois a técnica adotada revelou-se bastante eficiente. No presente caso, o índice de esparsidade (relação entre o número de coeficientes nulos e a quantidade total de coeficientes após a eliminação de Gauss) é da ordem de 5% apenas, quando se trata de uma estrutura regular de tamanho médio ou grande.
- e) Poder-se-ia ter adotado o método de Cholesky para a resolução do sistema de equações.

Uma técnica de subdivisão de sistemas de equações em "blocos" é apresentada na referência bibliográfica (<sup>17</sup>), para matrizes com largura de faixa constante.

### V-3. CONSIDERAÇÃO DOS APOIOS NO SISTEMA DE EQUAÇÕES

#### V-3.1 APOIOS DA BASE DA ESTRUTURA

Existindo as possibilidades de se considerarem os apoios da base da estrutura ou com deslocamentos prescritos ou como apoios elásticos, evidentemente uma situação exclui a outra. Em ambos os casos estes apoios influenciam as seguintes equações de equilíbrio (última linha da eq. V-4):

$$\begin{bmatrix} S_{2p+1,2p-1} & S_{2p+1,2p} & S_{2p+1,2p+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{2p-1} \\ D_{2p} \\ D_{2p+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_{2p-1} \\ A_{2p} \\ A_{2p+1} \end{Bmatrix}$$

(V-7)

A seguir são relatadas as técnicas adotadas para levar em conta essas influências:

a) Apoios com deslocamentos prescritos (recalques).

Seja  $\delta_i$  um dos deslocamentos prescritos indicados na figura (V-3), e

$$\sum_{j < i} S_{ij} D_j + S_{ii} D_i + \sum_{j > i} S_{ij} D_j = A_i \quad (V-8)$$

a equação correspondente na expressão (V-7).

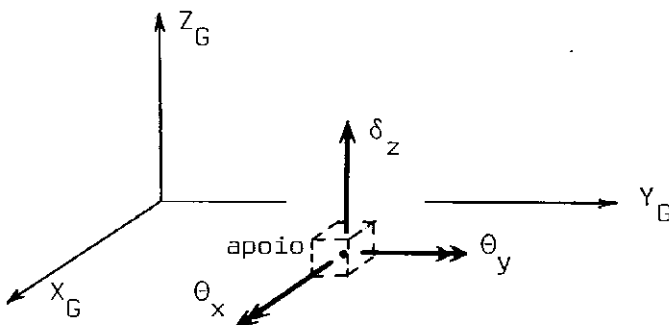


Fig. V-3 Recalques de um apoio

Multiplicando-se o coeficiente  $S_{ii}$  (da diagonal principal da submatriz  $S_{2p+1,2p+1}$ ) por um número muito grande ( $N_\infty$ ) em relação ao mesmo, e fazendo-se

$$A_i = S_{ii} N_\infty \delta_i \quad (V-9)$$

a expressão (V-8) fica modificada para:

$$\sum_{j < i} S_{ij} D_j + S_{ii} N_\infty D_i + \sum_{j > i} S_{ij} D_j = S_{ii} N_\infty \delta_i \quad (V-10)$$

Como o coeficiente  $S_{ii} N_\infty$  é muito grande em relação aos demais, e supõe-se que os deslocamentos sejam da mesma ordem de grandeza, pode-se desprezar os valores incluídos nos somatórios da expressão anterior, obtendo-se com suficiente precisão:

$$S_{ii} N_\infty D_i = S_{ii} N_\infty \delta_i \quad \therefore \quad D_i = \delta_i \quad (V-11)$$

#### b) Apoios elásticos.

Admitindo-se conhecidos os seguintes valores (fig.V-4):

$S_{\theta x}$  - coeficiente de rigidez do apoio para uma rotação unitária na direção  $X_G$  mantendo-se as demais nulas;

$S_{\theta y}$  - idem, na direção  $Y_G$ ;

$S_{dz}$  - coeficiente de rigidez do apoio, para uma translação unitária na direção  $Z_G$ , mantendo-se nulos os demais deslocamentos,

seja  $S_{ii}^*$  um destes valores, correspondente a uma linha  $i$  da equação (V-7). A influência desta rigidez é considerada simplesmente pela sua adição ao coeficiente  $S_{ii}$ :

$$\sum_{j < i} S_{ij} D_j + (S_{ii} + S_{ii}^*) D_i + \sum_{j > i} S_{ij} D_j = A_i \quad (V-12)$$

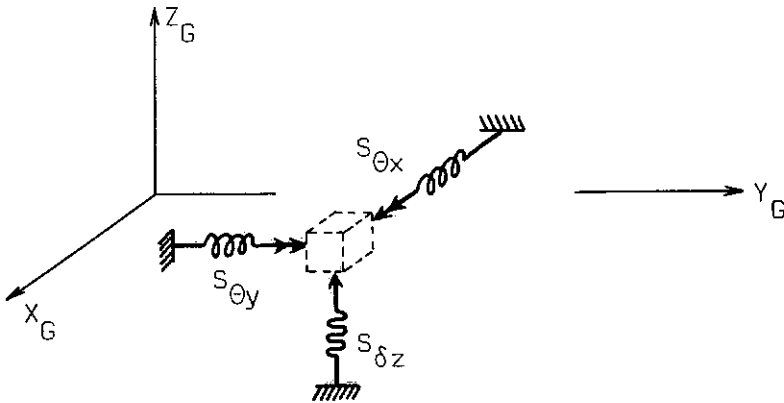


Fig. V-4 Apoios elásticos inferiores

### V-3.2 APOIOS ELÁSTICOS LATERAIS DOS ANDARES

Para se ter em conta as influências destes apoios na estrutura, o procedimento adotado é análogo ao descrito na item b da página anterior, devendo ser conhecidos os coeficientes de rigidez:

- $S_{dx}$  - esforço (ação sobre o apoio elástico) para um deslocamento unitário de bloco de andares na direção  $X_G$ ;
- $S_{dy}$  - idem, na direção  $Y_G$ ;
- $S_{\theta z}$  - momento no apoio para uma rotação unitária de bloco de andares segundo a direção  $Z_G$ .

Neste caso, sendo  $\underline{n}$  o número do andar com apoio elástico, serão modificados os coeficientes da diagonal principal da submatriz  $\underline{S}_{2n,2n}$  da equação (V-4).



#### V-4. CÁLCULO DOS ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES DOS ELEMENTOS

##### V-4.1 VIGAS

Após resolvida a equação (V-4), pesquisa-se no vetor  $\underline{D}$  os deslocamentos dos nós extremos de cada viga e calculam-se os esforços nas extremidades destes elementos no sistema de referência local através da expressão:

$$\underline{A}_{VL} = \underline{S}_{VL} \underline{T}_V \underline{R}_V \underline{D}_{VG} + \underline{A}_{EL} \quad (V-13)$$

onde o produto

$$\underline{D}_{VL} = \underline{T}_V \underline{R}_V \underline{D}_{VG} \quad (V-14)$$

fornece os deslocamentos das extremidades da viga no citado referencial, de acordo com as equações (IV-4) e (IV-9).

No programa para computador este trabalho é simplificado, pois a parcela

$$\underline{S}_{VL} \underline{T}_V \underline{R}_V \quad (V-15)$$

é previamente armazenada em memória auxiliar quando são efetuados os cálculos indicados na expressão (IV-13).

##### V-4.2 PILARES

O processo de cálculo é semelhante ao descrito acima para as vigas, porém sem levar em conta esforços de engastamento perfeito. Neste caso tem-se:

$$\underline{A}_{PL} = \underline{S}_{PL} \underline{R}_\gamma \underline{R}_\beta \underline{R}_\alpha \underline{T}_P \underline{D}_{PG} \quad (V-16)$$

pois, como se pode depreender das equações (IV-16) e (IV-18),

$$\underline{D}_{PL} = \underline{R}_\gamma \underline{R}_\beta \underline{R}_\alpha \underline{T}_P \underline{D}_{PG} \quad (V-17)$$

é o vetor de deslocamentos dos extremos do pilar no sistema de referência local.

Em se tratando de programação automática, ainda neste caso se pode tirar partido da expressão (IV-34), armazenando-se o resultado parcial daquela operação,

$$\underline{S}_{PL} \underline{R}_\gamma \underline{R}_\beta \underline{R}_\alpha \underline{T}_P \quad (V-18)$$

para sua utilização na equação (V-16).

#### V-5. REAÇÕES DE APOIO

As reações de apoio da estrutura são calculadas a partir dos esforços nas extremidades dos pilares, determinados pela expressão (V-16). A figura (V-5) indica a notação utilizada a seguir.

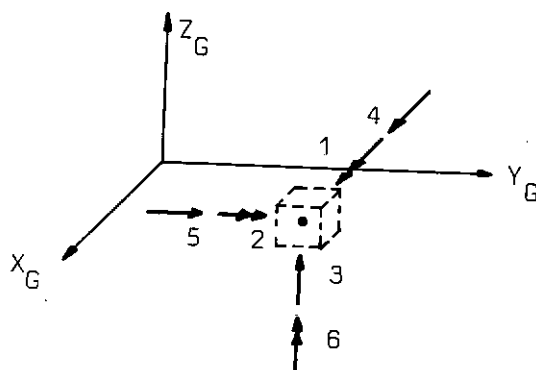


Fig. V-5. Numeração das reações de apoio no vetor  $\underline{F}_A$

Para um apoio da base da estrutura, relacionado com a extremidade inferior B de um determinado pilar (ver também a figura III-10), obtêm-se as reações com o auxílio da seguinte expressão:

$$\underline{\tilde{F}}_A = \underline{\tilde{T}}_A^t \underline{\tilde{R}}_{A\alpha}^t \underline{\tilde{R}}_{A\beta}^t \underline{\tilde{R}}_{A\gamma}^t \underline{A}_{PLb} \quad (V-19)$$

onde  $\underline{A}_{PLb}$  representa os esforços na citada extremidade do pilar, e a matriz de transformação e as de rotação são as definidas a seguir:

$$\underline{\tilde{T}}_A = \begin{bmatrix} \underline{\tilde{T}}_{Pi} & 0 \\ 0 & \underline{\tilde{T}}_{Pb} \end{bmatrix} \quad (V-20)$$

com  $\underline{\tilde{T}}_{Pi}$  e  $\underline{\tilde{T}}_{Pb}$  definidas de modo semelhante às expressões (V-30);

$$\underline{\tilde{R}}_{A\alpha} = \begin{bmatrix} \underline{R}_{\alpha}^1 & 0 \\ 0 & \underline{\tilde{R}}_{\alpha}^1 \end{bmatrix} \quad (V-21)$$

onde  $\underline{R}_{\alpha}^1$  é a matriz (IV-22);

$$\underline{\tilde{R}}_{A\beta} = \begin{bmatrix} \underline{R}_{\beta}^1 & \underline{R}_{\beta}^2 \\ \underline{R}_{\beta}^2 & \underline{R}_{\beta}^1 \end{bmatrix} \quad (V-22)$$

sendo  $\underline{R}_{\beta}^1$  e  $\underline{R}_{\beta}^2$  as matrizes (IV-20), e

$$\underline{\tilde{R}}_{A\gamma} = \begin{bmatrix} \underline{R}_{\gamma}^1 & 0 \\ 0 & \underline{\tilde{R}}_{\gamma}^1 \end{bmatrix} \quad (V-23)$$

em que  $\underline{R}_{\gamma}^1$  é definida na expressão (IV-18).

Se existir mais de um pilar concorrendo ao mesmo apoio, as operações da equação (V-19) são repetidas de modo acumulativo no vetor  $\underline{F}_A$ .

## VI - O PROGRAMA AUTOMÁTICO

### VI-1. GENERALIDADES

Este capítulo é destinado a mostrar de forma suscinta as principais etapas do programa desenvolvido para a análise de esforços em edifícios altos, de acordo com o modelo estrutural e o método de análise apresentados nos capítulos anteriores.

Citam-se, de passagem, algumas das técnicas de programação utilizadas visando principalmente economia de tempo de processador e de memória central de computador, bem como facilidade e segurança na utilização do programa. Não se desce a nível de detalhe quanto a essas técnicas, que devem ser buscadas em publicações de caráter didático tais como a indicada na referência <sup>(18)</sup>.

O programa principal recebeu o nome ATEEL - Análise Tridimensional de Esforços em Estruturas de Edifícios Elevados - e utiliza um conjunto de 18 subrotinas. Foi elaborado em linguagem FORTRAN e implementado em um computador Burroughs modelo B-6700. Procurou-se utilizar, no que foi possível, um subconjunto de declarações daquela linguagem compatível com vários compiladores existentes. Poucas são as instruções válidas exclusivamente na citada marca de equipamento, não havendo dúvida em que a adaptação do programa a outras máquinas é tarefa simples para um programador experiente.

### VI-2. CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA

Devido ao elevado número de informações a serem fornecidas ao programa, o seu planejamento e elaboração foram acom-

panhados por uma constante preocupação com o armazenamento de dados, de modo a não se ocupar memória de computador em excesso, e tampouco se consumir um exagerado tempo de entrada/saída em consultas a memórias auxiliares. Para se contornar este problema aproveitaram-se algumas características muito comuns dos edifícios - altos ou não - a saber:

- a) Repetição de seções transversais de vigas e pilares;
- b) Repetição de coordenadas dos pontos nodais, em planta;
- c) Provável existência de pavimento-tipo em andares consecutivos;
- d) Provável repetição dos carregamentos (sobre vigas, nós e andares) em pavimentos idênticos consecutivos.

Estas quatro características sugeriram a adoção das seguintes técnicas de armazenamento de informações na memória do computador:

- a) Leitura, uma só vez, dos parâmetros geométricos de cada seção transversal diferente, para vigas e para pilares.
- b) Leitura das coordenadas dos pontos nodais cujas projeções verticais são diferentes.
- c) Definição do 1º andar: pé direito, vigas, pilares, pontos nodais, excentricidades dos extremos dos elementos em relação aos nós, e referências às seções transversais previamente definidas.
- d) Definição dos demais andares, tendo-se como base o andar i imediatamente anterior e, se for o caso, fornecendo-se apenas as modificações entre os dois pavimentos consecutivos (modificações no pé direito, nas excentricidades e nas seções transversais, supressão de elementos ou inclusão de outros). O armazenamento dessas informações é feito sem a geração de dados repetitivos na memória, mas criando-se um esquema de endereçamento que permite a sua fácil localização.

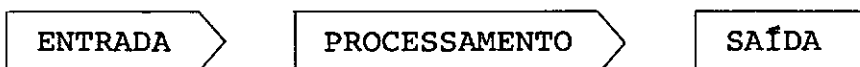
- e) Definição das cargas no 1º pavimento.
- f) Definição das cargas nos demais andares, obedecendo-se a um critério semelhante ao exposto no item d.

No programa em questão, é uma constante o uso da técnica de armazenamento de vários tipos de informações em um único vetor, cujas localizações são feitas através de apontadores de endereços. O armazenamento das "matrizes" de rigidez e "vetores" de carregamento dos andares da estrutura na forma vetorial, com re-aproveitamento da área de memória, o cálculo dos deslocamentos da estrutura nas mesmas posições ocupadas pelos "vetores" de carregamento, e a gravação de registros de tamanhos variáveis em memória auxiliar foram outros recursos de que se lançou mão. Por estes motivos é que a capacidade do programa em aceitar maior ou menor quantidade de dados pode ser facilmente alterada pela modificação de poucas instruções, unicamente do tipo COMMON.

Vários casos de carregamento podem ser analisados simultaneamente em uma mesma estrutura, e é conveniente o uso deste recurso pela vantagem que proporciona em termos de custo.

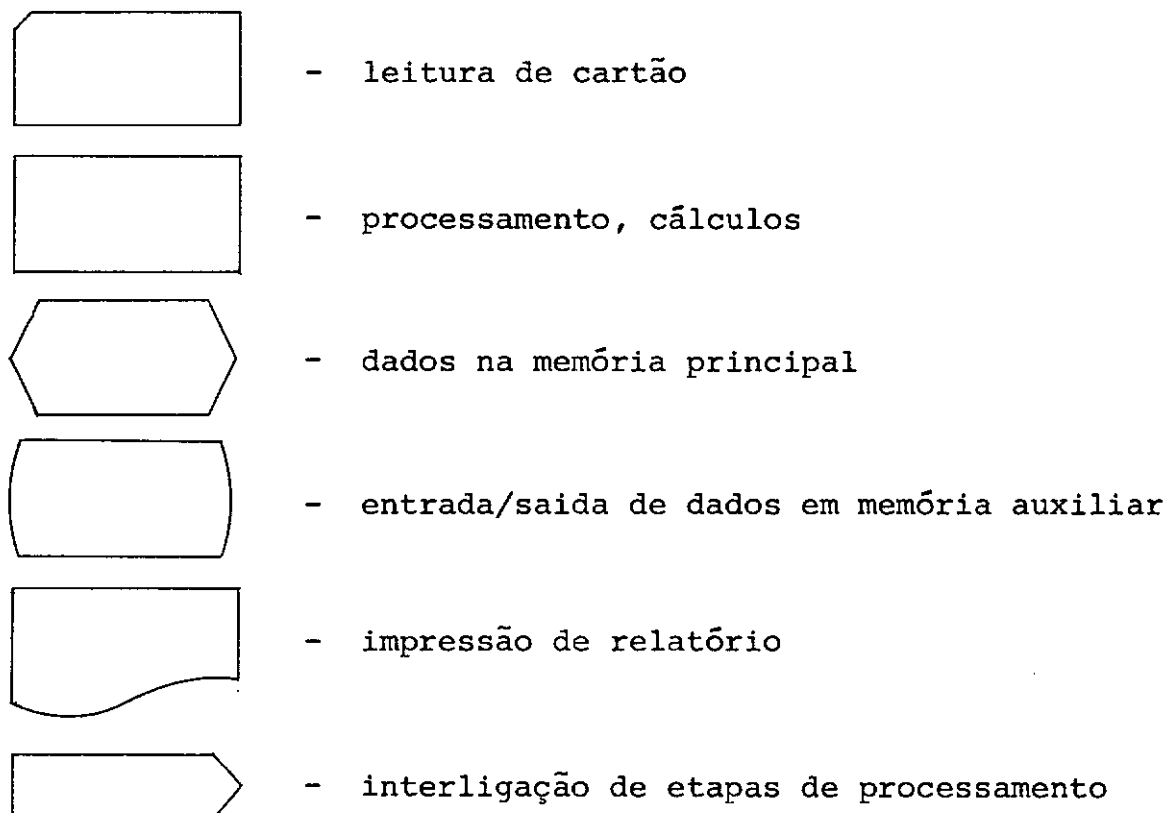
### VI-3. ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

Com a finalidade de se descrever a estruturação do programa julgou-se conveniente dividi-lo em 6 etapas distintas, e que são a seguir apresentadas sob a forma:



onde os termos "entrada" e "saída" não confinam apenas os conceitos usuais de "leitura de cartões" e "saída em impressora", mas sim a idéia mais geral envolvendo transferência de dados entre cartões, memória principal, memória auxiliar (disco ou

fita magnética) e impressora. Para melhor compreensão do que será exposto, utilizam-se as seguintes convenções:

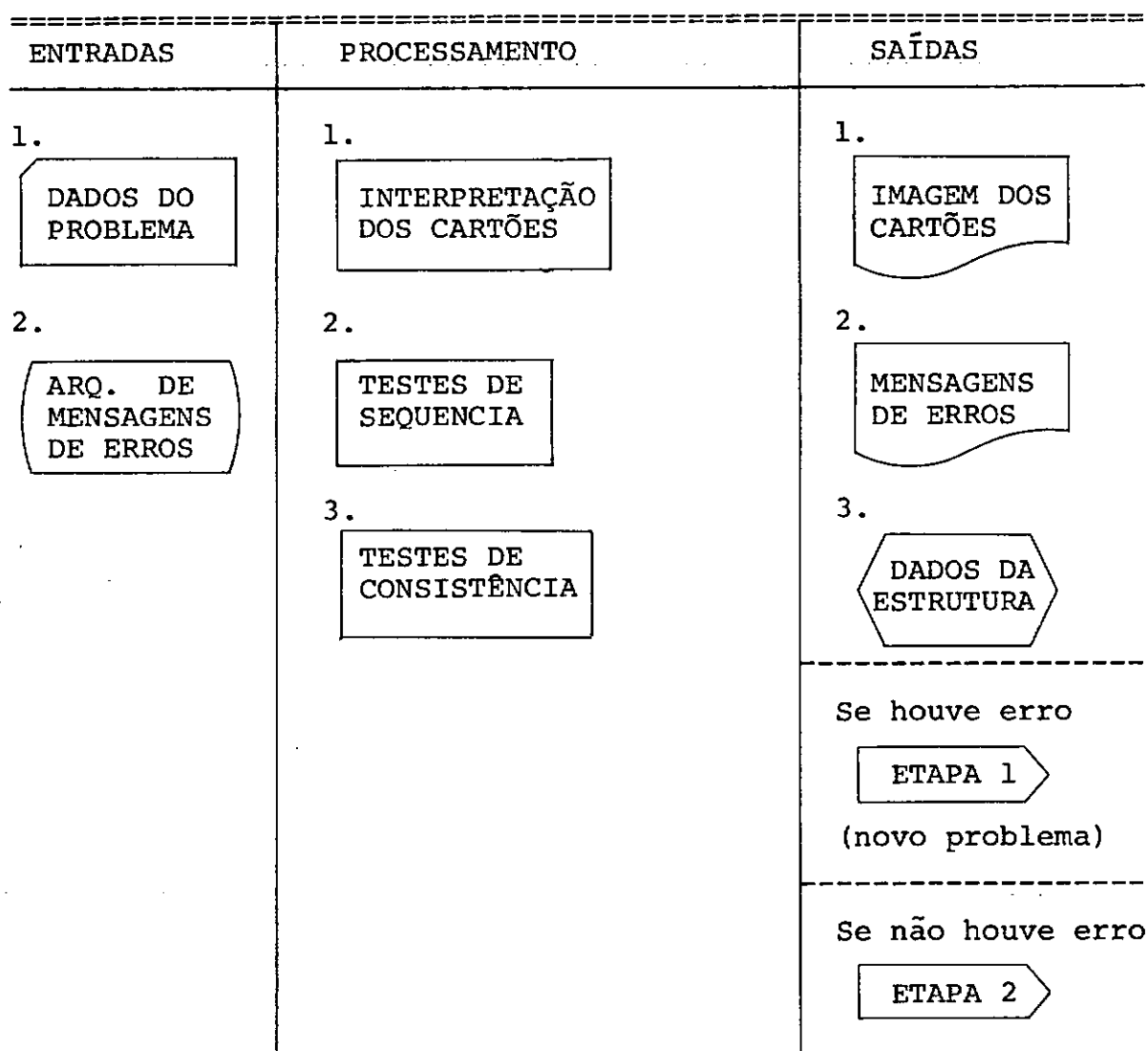


Trata-se de uma apresentação bem resumida, apenas com o intuito de se ordenarem as idéias gerais do processamento. No item VI-4 é apresentado um esquema da "hierarquia" entre sub-rotinas, bem como um resumo da função de cada uma delas.

#### VI-3.1 ETAPA 1 - LEITURA DOS DADOS DE UM PROBLEMA (SUBROTINA "DADOS")

Esta etapa (ver quadro VI-1) destina-se basicamente à leitura dos cartões e testes de erros de codificação, de sequência e de consistência das informações neles contidas.





QUADRO VI-1

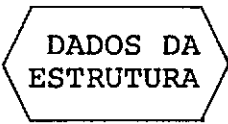
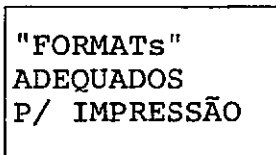



Todos os cartões utilizam um único formato de codificação. Cada um deles é identificado por uma palavra chave, e a ordem de leitura deve obedecer a uma sequência pré-fixada tendo em vista a descrição do problema de modo inequívoco (ver apêndice A - Manual de Utilização).

No caso de detecção de um erro, a mensagem correspondente é pesquisada em um arquivo em memória auxiliar, previamente gravado, e impressa imediatamente após a "imagem" do cartão que o produziu. Mesmo neste caso a leitura não é interrompida, mas não se prosseguirá para a 2ª etapa do processamento.

Ao final da massa de cartões de um problema, é opcional a colocação de um comando de execução. Assim, o usuário poderá decidir pelo simples teste de seus cartões ou pela resolução do problema.

### VI-3.2 ETAPA 2 - LISTAGEM DE UM RELATÓRIO DESCRITIVO (SUBROTINA "RELAT")

A impressão de um relatório descritivo da estrutura tem por finalidade apresentar os dados em forma mais adequada a um re-exame e verificação (quadro VI-2).

ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
1.  DADOS DA ESTRUTURA	1.  "FORMATs" ADEQUADOS P/ IMPRESSÃO	1.  RELATÓRIO DESCRITIVO
		Se não houve ordem de execução  ETAPA 1 (novo problema)
		Se houve ordem para execução  ETAPA 3

QUADRO VI-2

VI-3.3 ETAPA 3 - MONTAGEM DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM ANDAR (SUBROTINA "DEGRAU")

ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDAS
<p>1.</p> <div>DADOS DA ESTRUTURA</div>	<p>1.</p> <div>COLETA DOS DADOS DE UM ANDAR</div> <p>2.</p> <div>NUMERAÇÃO INTERNA DOS NÓS</div> <p>3.</p> <div>CÁLCULO DA LARGURA DE FAIXA</div> <p>4.</p> <div>CÁLCULO DAS MATRIZES DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS</div> <p>5.</p> <div>CÁLCULO DOS ESFORÇOS DE ENGASTAMENTO PERFEITO (VIGAS)</div> <p>6.</p> <div>TRANSFORMAÇÕES PARA O SISTEMA DE REFERÊNCIA GLOBAL</div> <p>7.</p> <div>MONTAGEM DA MATRIZ DE RIG. DO ANDAR E VET. DE CARREG.</div> <p>8.</p> <div>CONSIDERAÇÃO DOS APOIOS NO SISTEMA DE EQUAÇÕES</div>	<p>1.</p> <div>MATRIZES DE RIGIDEZ DOS ELEMENTOS</div> <p>2.</p> <div>MATRIZ DE RIGIDEZ DO ANDAR E VET. DE CARREGAMENTO</div> <div>ETAPA 4</div>

QUADRO VI-3

A etapa 3 (quadro VI-3) diz respeito à montagem da matriz de rigidez de um andar, conforme o exposto no item (V-2). A influência dos apoios no sistema de equações é tratada no item (V-3). Monta(m)-se também o(s) vetor(es) de carregamento da estrutura.

Como saída intermediária desta etapa, gera-se um arquivo em memória auxiliar contendo as matrizes de rigidez das vigas e pilares, pós-multiplicadas pelas matrizes de rotação e transformação (expressões V-15 e V-18), que serão utilizadas na etapa 6 para o cálculo dos esforços nas extremidades dos elementos. Aproveita-se aqui uma das características dos edifícios - andar tipo - e somente se armazena a matriz de um determinado elemento se ele não for rigorosamente igual ao correspondente no andar anterior.

O armazenamento dos coeficientes de rigidez e vetores de carregamento da estrutura, para um andar qualquer, é feito em um único vetor (unidimensional) na memória principal. Esta área é re-utilizada de cada vez que se executa a presente etapa.

#### VI-3.4 ETAPA 4 - "TRIANGULARIZAÇÃO" DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM ANDAR (SUBROTINA "BLOCO")

O conjunto de etapas 3-4 é repetido para todos os andares da estrutura. Para cada pavimento, grava-se em memória auxiliar a matriz de rigidez "triangularizada" e o(s) vetor(es) de carregamento modificado(s). Exceção única é feita para o último andar (térreo), quando nada é gravado, uma vez que os valores acima citados deverão estar disponíveis na memória para a etapa 5. O quadro (VI-4) ilustra a presente etapa.

Como os pavimentos podem ser diferentes entre si, a matriz de rigidez e vetor(es) de carregamento são gravados em registros de tamanho variável.

ENTRADAS	PROCESSAMENTO	SAÍDAS
1. <div>MATRIZ DE RIGIDEZ DO ANDAR</div>	1. <div>"TRIANGULARIZAÇÃO" DA M. DE RIGIDEZ E VETORES DE CARR.</div>	1. <div>MATRIZ "TRIANGUL." E VET. DE CARREG.</div>
2. <div>ARQ. DE MENSAGENS DE ERRO</div>	2. <div>TESTE DE ELEMENTO NÃO POSITIVO NA DIAGONAL PRINCIPAL</div>	2. <div>INFLUÊNCIA SOBRE O ANDAR SEGUINTE</div>
	3. <div>POSICIONAMENTO DA INFLUÊNCIA DO ANDAR SOBRE O SEGUINTE</div>	3. <div>MENSAGEM DE ERRO</div>
		<div>Em caso de erro</div> <div>ETAPA 1</div> <div>(novo problema)</div>
		<div>Até penúltimo andar</div> <div>ETAPA 3</div>
		<div>Se último andar</div> <div>ETAPA 5</div>

QUADRO VI-4

No caso de ocorrência de um elemento não positivo na diagonal principal da matriz de rigidez, a análise do problema é sumariamente interrompida, imprimindo-se uma mensagem com a indicação do número do andar e do nó (numeração atribuída pelo usuário) em que se detectou o erro.

### VI-3.5 ETAPA 5 - CÁLCULO DOS DESLOCAMENTOS DE UM ANDAR (SUBROTINA "RESEQ")

Nesta etapa, que é repetida tantas vezes quanto for o número de andares, as matrizes de rigidez "triangularizadas" e os vetores de carregamento modificados são novamente trazidos à memória principal na ordem inversa em que foram gravados, processando-se então o cálculo dos deslocamentos através do método indicado no item (V-2).

Os deslocamentos calculados ocupam a mesma área de memória dos vetores de carregamento, e são gravados em memória auxiliar como registros de tamanho variável. (ver quadro VI-5).

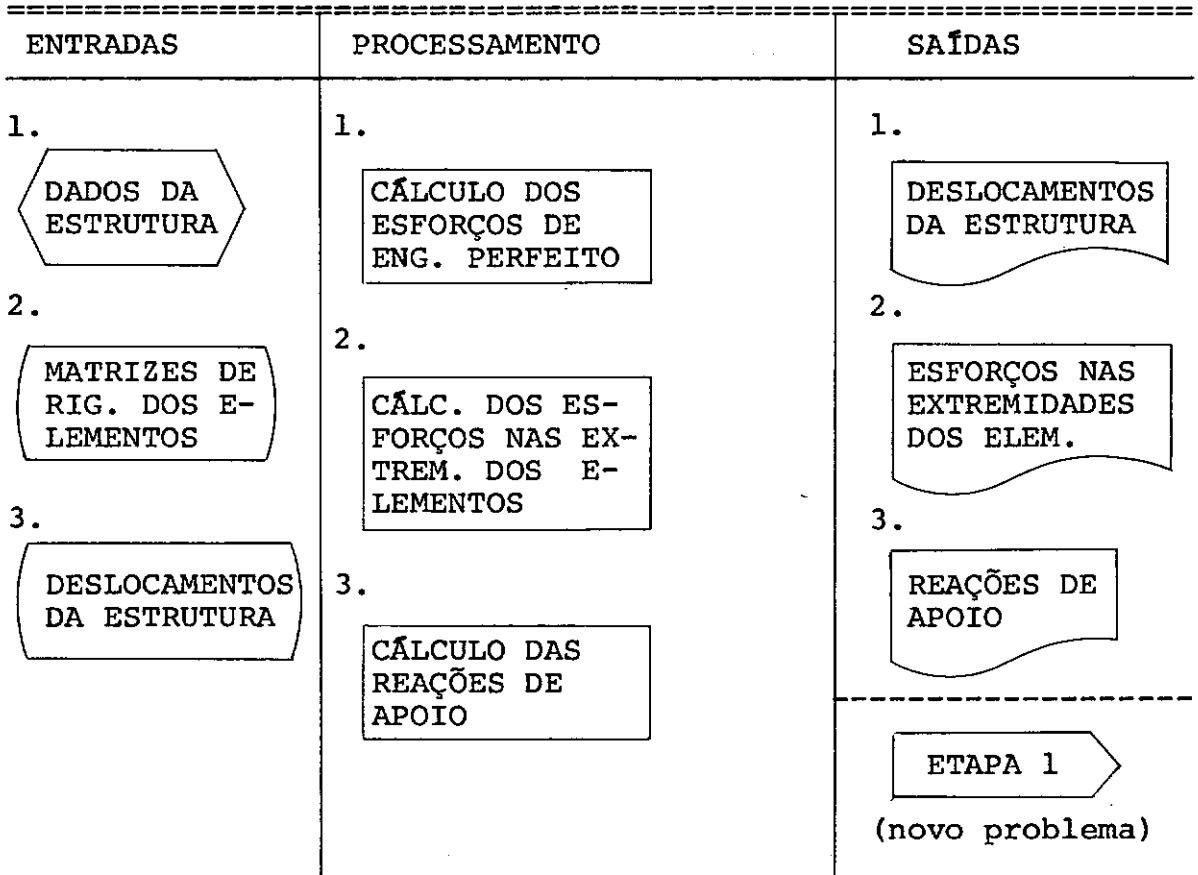
ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
1. MATRIZ "TRI- ANGULARIZADA E VET. DE CARREGAMENTO"	1. CÁLCULO DOS DES- LOCAMENTOS DO ANDAR	1. DESLOCAMENTOS DE UM ANDAR
		Até penúltimo andar ETAPA 5
		Se último andar ETAPA 6

QUADRO VI-5

### VI-3.6 ETAPA 6 - CÁLCULO DOS ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES DOS ELEMENTOS (SUBROTINA "FORÇA")

Nesta etapa são lidos da memória auxiliar para a principal todos os deslocamentos calculados, e em seguida impressos

em relatório. São calculados os esforços nas extremidades dos elementos (eqs. V-13 e V-16), bem como as reações de apoio da estrutura (eq. V-19). Todos estes valores são também impressos, por caso de carregamento. O quadro (VI-6) ilustra o procedimento adotado nesta etapa.



QUADRO VI-6

Um novo problema pode ser resolvido em seguida, se não houver um comando de fim de execução.

#### VI-4. SUBROTINAS DO PROGRAMA "ATEEL"

A figura (VI-1) apresenta um esquema com as relações das subrotinas entre si e com o programa principal.

Resumidamente, são as seguintes as funções destas subrotinas:

**DADOS** - Lê cartões, efetua testes de verificação de sequência e consistência dos dados, e armazena os valores das variáveis na memória principal.

Chama as subrotinas TRANS e ERRO. Grava os títulos do problema e dos carregamentos no arquivo 4.

**TRANS** - Efetua as conversões dos campos numéricos dos cartões, lidos em formato A1, para as variáveis do programa; verifica os possíveis erros de perfuração em cada um desses campos.

Chama a subrotina ERRO.

**ERRO** - Pesquisa em um arquivo previamente gravado a mensagem de erro a ser impressa, de acordo com o valor de um argumento de entrada.

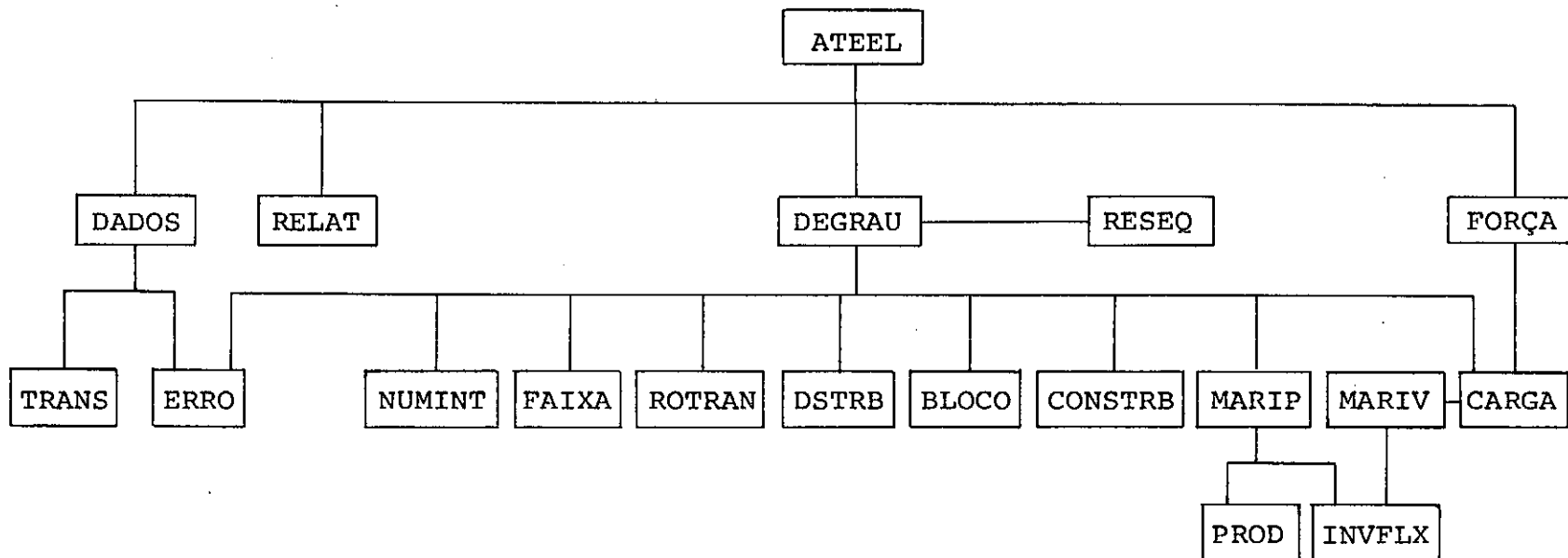
Utiliza o arquivo 6 (ATEEL/ERROS).

**RELAT** - Imprime um relatório descritivo da estrutura.

Os títulos impressos na listagem são lidos do arquivo 4.

**DEGRAU** - Coleta os dados dos elementos e carregamentos para a montagem da matriz de rigidez e vetores de cargas equivalentes de cada andar, e faz levar em conta as influências dos apoios e dos recalques prescritos. Modifica as coordenadas dos pontos nodais quando há





QUADRO VI-7 - Relações entre o programa principal e subrotinas

pilares com mudanças de eixos de um andar para o seguinte.

Chama as subrotinas NUMINT, FAIXA, CARGA, MARIV, MARIP, ROTRAN, DSTRB, BLOCO, CONTRB e ERRO. Grava as matrizes de rigidez parcialmente transformadas para o referencial global nos arquivos 10 (vigas) e 11 (pilares).

NUMINT - Efetua a numeração interna dos pontos nodais, estabelecendo sua correspondência com a numeração atribuída pelo usuário.

FAIXA - Calcula a largura de faixa da matriz de rigidez de cada andar.

CARGA - Calcula os esforços de engastamento perfeito das vigas.

Chama a subrotina MARIV, quando se trata de carga concentrada sobre viga com mísulas retas verticais.

MARIV - Calcula as matrizes de rigidez das vigas no sistema de referência local.

Chama a subrotina INVFLX, quando se trata de viga de forma qualquer (cuja matriz de flexibilidade de um dos extremos é fornecida via cartão), ou no caso de viga de eixo circular.

INVFLX - Inverte a matriz de flexibilidade de uma extremidade de um elemento (viga ou pilar). Completa a matriz de rigidez obtida, para ambos os extremos.

MARIP - Calcula as matrizes de rigidez dos pilares, e efetua as transformações para o sistema de referência global.

Chama as subrotinas PROD e INVFLX.

- PROD - Efetua produtos matriciais entre a matriz de rigidez e as de rotação e transformação de pilar.
- ROTRAN - Efetua produtos matriciais entre a matriz de rigidez e as de rotação e transformação de viga.
- DSTRB - Promove a distribuição, na matriz de rigidez de um andar, dos valores das cargas sobre os nós e sobre os andares, dos esforços de engastamento perfeito em vigas, e das matrizes de rigidez de vigas e de pilares.
- BLOCO - Efetua a "trangularização" da matriz de rigidez de um andar, e as modificações correspondentes nos vetores de carregamento.
- Grava esta matriz e vetores modificados no arquivo 7.
- CONTRB - Posiciona a influência da matriz de rigidez e vetores de carregamento de um andar sobre o andar seguinte, dentro da área de memória destinada a estes coeficientes.
- RESEQ - Resolve o sistema de equações, calculando os vetores de deslocamentos da estrutura.
- Utiliza o arquivo 7 para ler os "blocos" de equações dos vários andares da estrutura, gravados pela subrotina BLOCO. Grava os vetores de deslocamentos calculados no arquivo 9, por andar.
- FORÇA - Realiza a impressão de um relatório contendo os deslocamentos da estrutura, os esforços nas extremidades dos elementos e as reações de apoio. Para o cálculo dos esforços nos elementos, utiliza os arquivos 10 e 11 gravados pela subrotina DEGRAU. Os desloca-

mentos da estrutura são trazidos à memória principal pela leitura dos registros do arquivo 9.

Chama a subrotina CARGA para o cálculo dos esforços de engastamento perfeito das vigas.

#### VI-5. LIMITAÇÕES DO PROGRAMA E OUTRAS INFORMAÇÕES

Não há limitação do programa para o número de pavimentos da estrutura a ser analisada, e sim da quantidade máxima de pontos nodais estabelecidos em um andar, associada ao número de casos de carregamento.

O quadro (VI-8) apresenta a quantidade de memória necessária para se armazenarem a matriz de rigidez e os vetores de carregamento de um andar em um arranjo unidimensional na memória central do computador, em função do número de nós do andar e dos casos de carregamento da estrutura.

Nº DE NÓS EM UM ANDAR	Nº DE CASOS DE CARREGAMENTO		
	1	3	5
10	1701	1827	1953
20	6096	6342	6588
30	13191	13557	13923
40	22986	23472	23958
50	35481	36087	36693
60	50676	51402	52138
67	62919	63729	64539
68	64776	-	-

QUADRO VI-8

Nº de posições ocupadas para armazenamento da matriz de rigidez e vetores de carregamento de um andar

A limitação da estrutura a ser analisada repousa praticamente no número máximo de posições que se pode reservar para um só vetor no computador. No caso do equipamento Burroughs modelo 6700 este número é 65535; o quadro (VI-8) mostra que nessa máquina a programação permite a análise de estruturas com até 68 pontos nodais por pavimento. (Contudo, para um número de nós acima deste valor, ainda resta a possibilidade de se repartir o armazenamento de dados entre vetores distintos, cada qual com a capacidade de até 65535 variáveis, modificando-se a programação onde for necessário).

Para maior comodidade, durante a leitura dos cartões e execução do problema, são feitos testes de verificação da capacidade de armazenamento de dados nos vetores do programa, de conformidade com o número de posições a eles designados nas declarações de especificação do tipo COMMON. Se o programa requerer mais área de memória que estas reservadas, será emitida uma mensagem do tipo: "REDIMENSIONE O VETOR ...".

O programa objeto (compilado) ocupa 6K palavras (\*) de memória no computador Burroughs 6700. No caso da listagem apresentada no Apêndice C, em que a área a que se refere o quadro (VI-8) está fixada em 28000 palavras, o programa ocupa cerca de 40K palavras em tempo de execução.

O programa fonte possui 2526 cartões, dos quais mais de 400 são destinados a comentários da listagem.

---

(\*) 1K = 1024 palavras.

## VII - EXEMPLOS E CONCLUSÕES

### VII-1. EXEMPLOS

Com a finalidade de efetuar os testes das condições de funcionamento e desempenho do programa "ATEEL", foram analisadas algumas séries de exemplos de estruturas, variando-se em cada série o número de pavimentos do edifício. Foram medidos, em cada exemplo, os tempos de processamento e de entrada/saída, o número de equações de equilíbrio e o "índice de esparsidade". No presente contexto, define-se índice de esparsidade como a relação entre a quantidade de valores nulos e o número total de coeficientes da matriz de rigidez e vetor(es) de carregamento da estrutura após o processo de eliminação de Gauss.

Todos os exemplos foram processados em um computador Burroughs modelo 6700.

O quadro (VII-1) apresenta os dados coletados dessas séries de exemplos. A figura (VII-6) novamente ilustra os tempos de processamento como funções do número de andares em cada série, na forma de um gráfico.

A seguir são fornecidos alguns pormenores acerca dos exemplos analisados. Em todos os casos a estrutura foi submetida à ação de carregamentos laterais e verticais combinados. Estruturas simétricas com carregamentos também simétricos em relação a um só plano vertical foram tratadas com vantagem, pois permitem idealizações estruturais com menor número de pontos nodais por pavimento (ver séries de exemplos 2 e 5).

## SÉRIE 1-A:

A figura (VII-1) mostra um esquema de um pavimento genérico desta série de exemplos. Foram analisadas estruturas com 10, 20, ..., 60 andares, submetidas a um caso de carregamento, modificando-se todas as seções transversais e valores das cargas a cada 5 andares.

## SÉRIE 1-B:

Esta série de exemplos foi composta pelos mesmos problemas da série anterior, submetidas a dois casos de carregamento. Observa-se (quadro VII-1) um ligeiro acréscimo dos tempos de processamento.

## SÉRIE 2:

Novamente foram analisados os problemas da série 1-A, porém desta vez tirando-se partido da simetria das estruturas e de seus carregamentos em relação ao plano  $X_G Z_G$ . A figura (VII-2) indica o artifício utilizado, que consiste em seccionar a estrutura segundo o plano de simetria, introduzindo-se apoios elásticos ao nível de cada andar nas direções  $Y_G$  e  $Z_G$ , e colocando-se pilares fictícios (indicados na figura) de grande momento de inércia de seção transversal em relação ao eixo  $X_G$  e área nula. Diminui-se desta forma o número de equações de equilíbrio, e conseqüentemente o tempo de processamento.

## SÉRIE 3:

Nesta série as vigas das estruturas da série 1-A foram substituídas por vigas de eixo circular e seção transversal constante, mantendo-se as demais características geométricas dos elementos, bem como as cargas atuantes. (figura VII-3).

**SÉRIE 4:**

Para estes exemplos tomou-se um pavimento tipo (figura VII-4) contendo 30 nós, 30 pilares e 50 vigas. Os exemplos foram analisados com 10, 20 e 60 andares, cada um com apenas um caso de carregamento.

**SÉRIE 5:**

Nesta série de exemplos, aproveitou-se a simetria de cada problema da série anterior, diminuindo-se o número de pontos nodais por pavimento para 20.



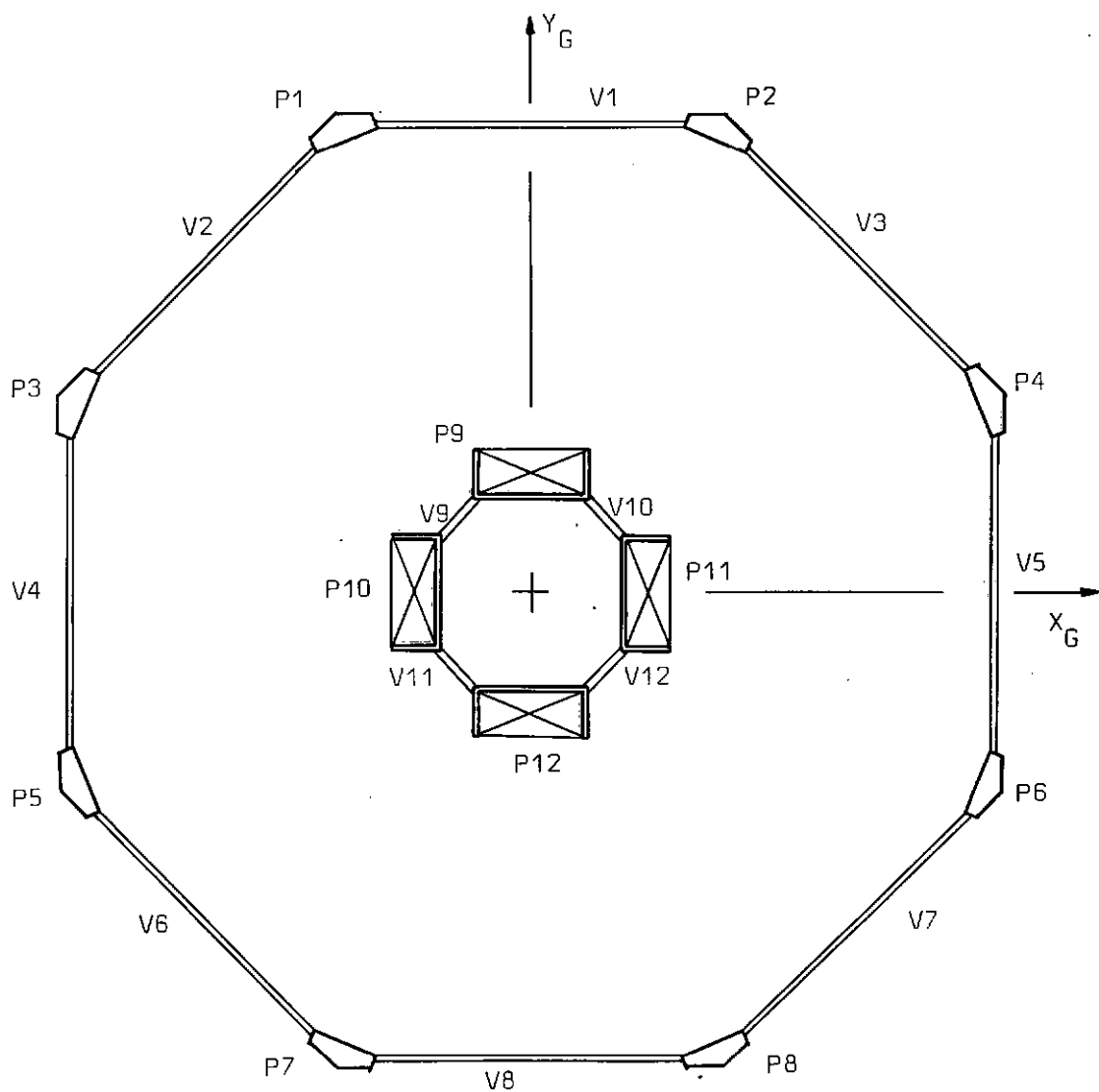


Fig. VII-1 Esquema do pavimento tipo utilizado nas séries de exemplos 1-A e 1-B

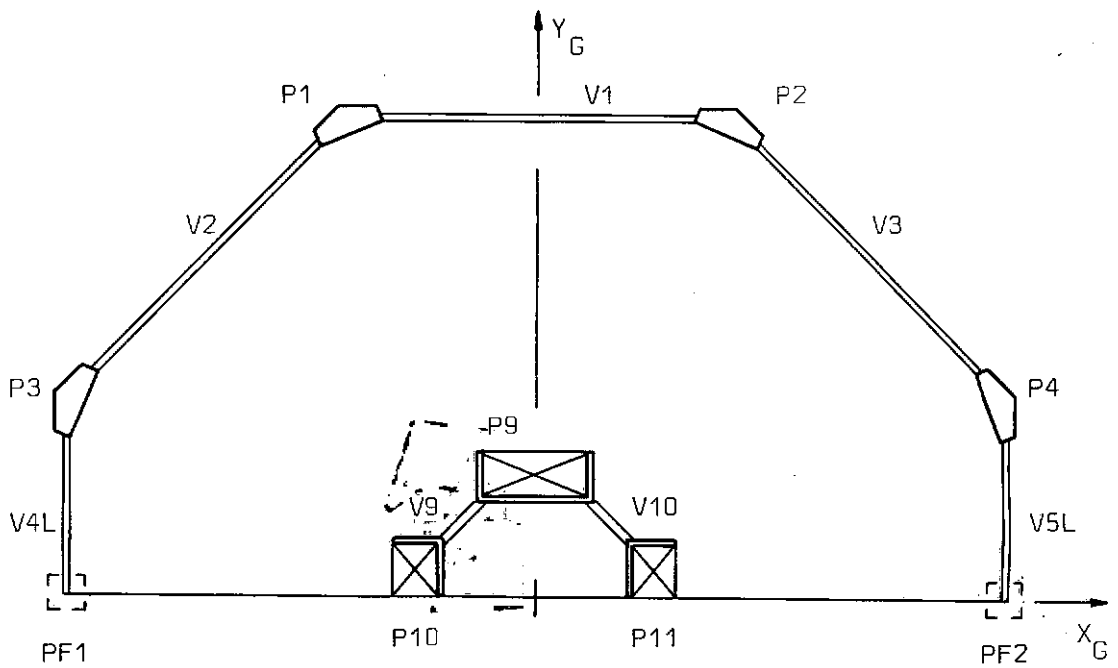


Fig. VII-2 Esquema do pavimento tipo utilizado nos exemplos da série 2

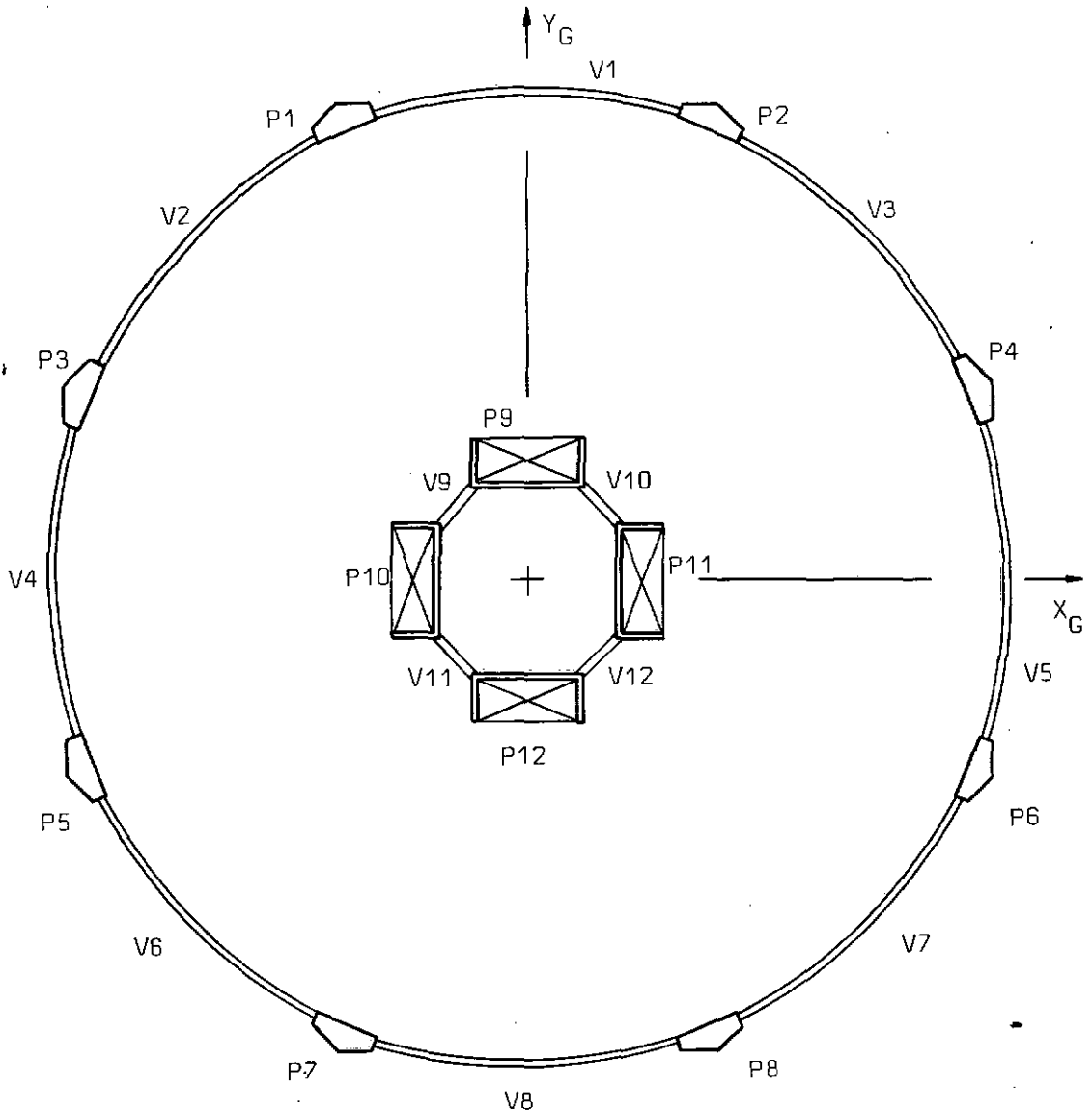


Fig. VII-3 Esquema do pavimento tipo utilizado na série de exemplos 3

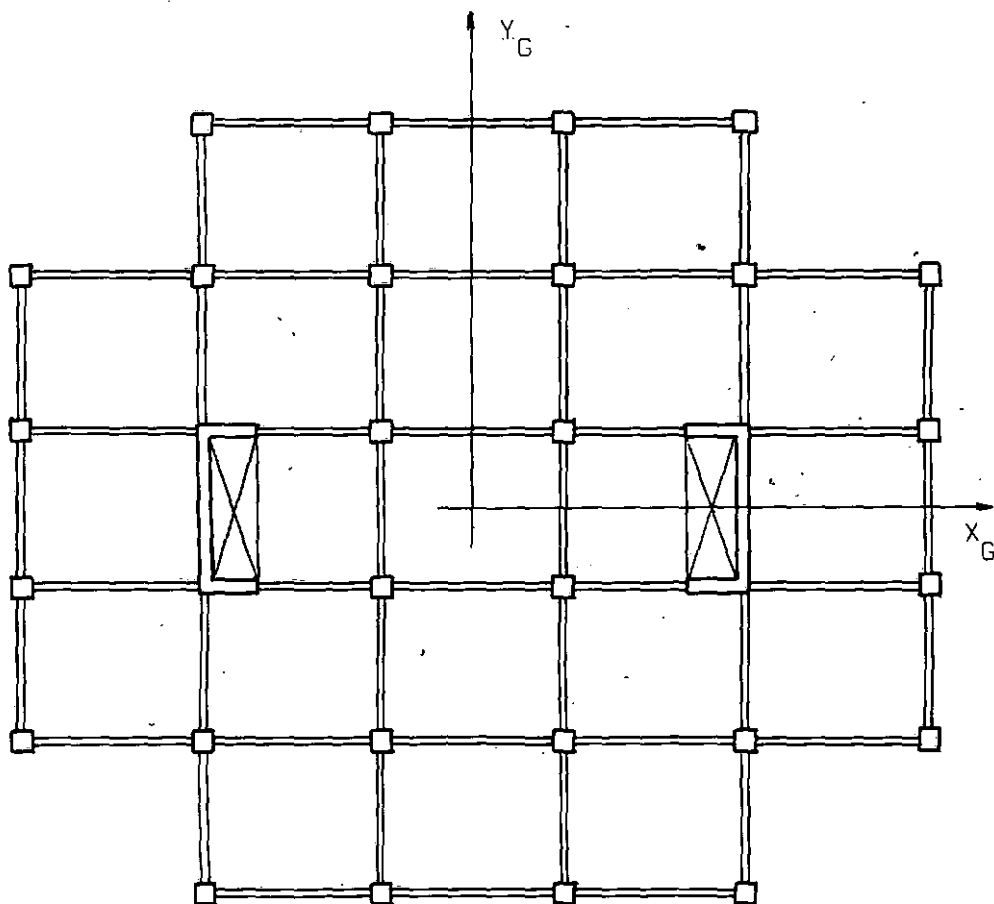


Fig. VII-4 Esquema do pavimento tipo utilizado na série de exemplos 4

Série	Larg. de faixa		Número de andares					
			10	20	30	40	50	60
1-A	42	TP	1:44	3:34	4:59	7:05	9:15	11:26
		ES	0:34	1:02	1:47	2:26	3:03	3:30
		NE	426	816	1206	1596	1986	2376
		IE	7,54	5,56	4,88	4,53	4,33	4,19
1-B	42	TP	2:08	4:44	6:17	8:08	10:18	12:13
		ES	0:41	1:25	1:56	2:29	2:54	3:44
		NE	426	816	1206	1596	1986	2376
		IE	7,48	5,52	4,82	4,47	4,26	4,12
2	33	TP	1:04	2:29	3:35	4:35	4:50	6:11
		ES	0:26	0:45	1:14	1:23	1:54	2:16
		NE	327	627	927	1227	1527	1827
		IE	16,74	15,43	14,88	14,65	14,42	14,33
3	42	TP	1:57	3:59	5:37	7:59	8:27	10:47
		ES	0:36	1:12	1:51	3:01	3:02	3:37
		NE	426	816	1206	1596	1986	2376
		IE	7,54	5,56	4,88	4,53	4,33	4,19
4	96	TP	11:43	21:43	-	-	-	70(*)
		ES	3:09	5:43	-	-	-	15(*)
		NE	1020	1950	-	-	-	5670
		IE	4,86	3,42	-	-	-	2,47
5	66	TP	4:35	8:38	15:19	20:15	25:11	30:51
		ES	1:06	2:49	3:24	5:08	5:09	5:56
		NE	690	1320	1950	2580	3210	3840
		IE	20,80	19,90	19,59	19,44	19,35	19,29

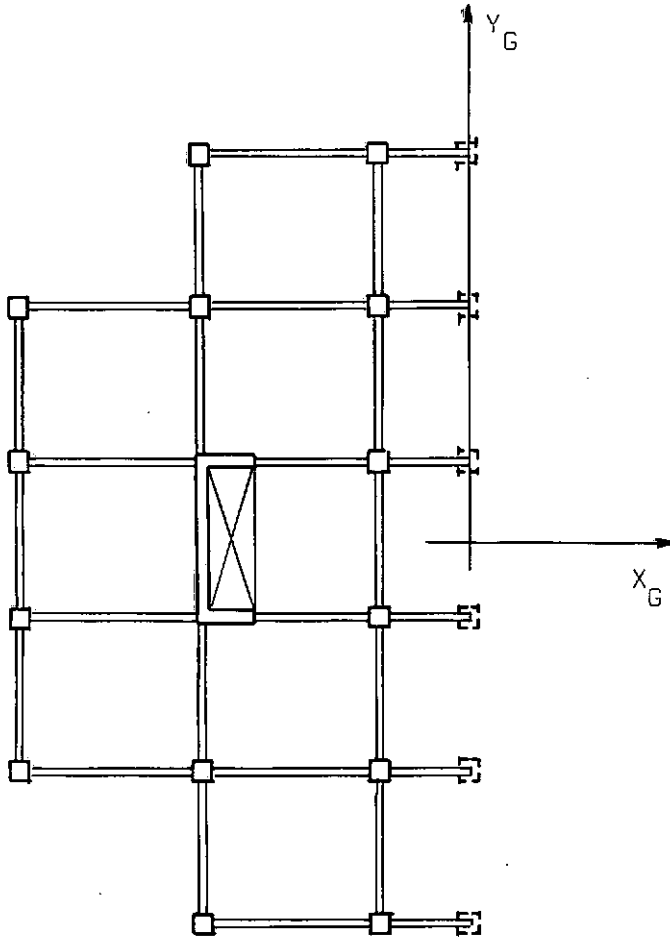


Fig. VII-5 Esquema do pavimento tipo utilizado na série de exemplos 5

Notas relativas ao quadro VII-1 (pág. anterior):

TP - tempo de processamento (min:seg)

ES - tempo de entrada/saída (min:seg)

NE - número de equações

IE - índice de esparsidade (%)

A largura de faixa é a máxima da matriz de rigidez.

(\*) - Tempo estimado, baseado no custo do processamento; por motivo ignorado, não foi impresso pelo computador o resumo desse "job".

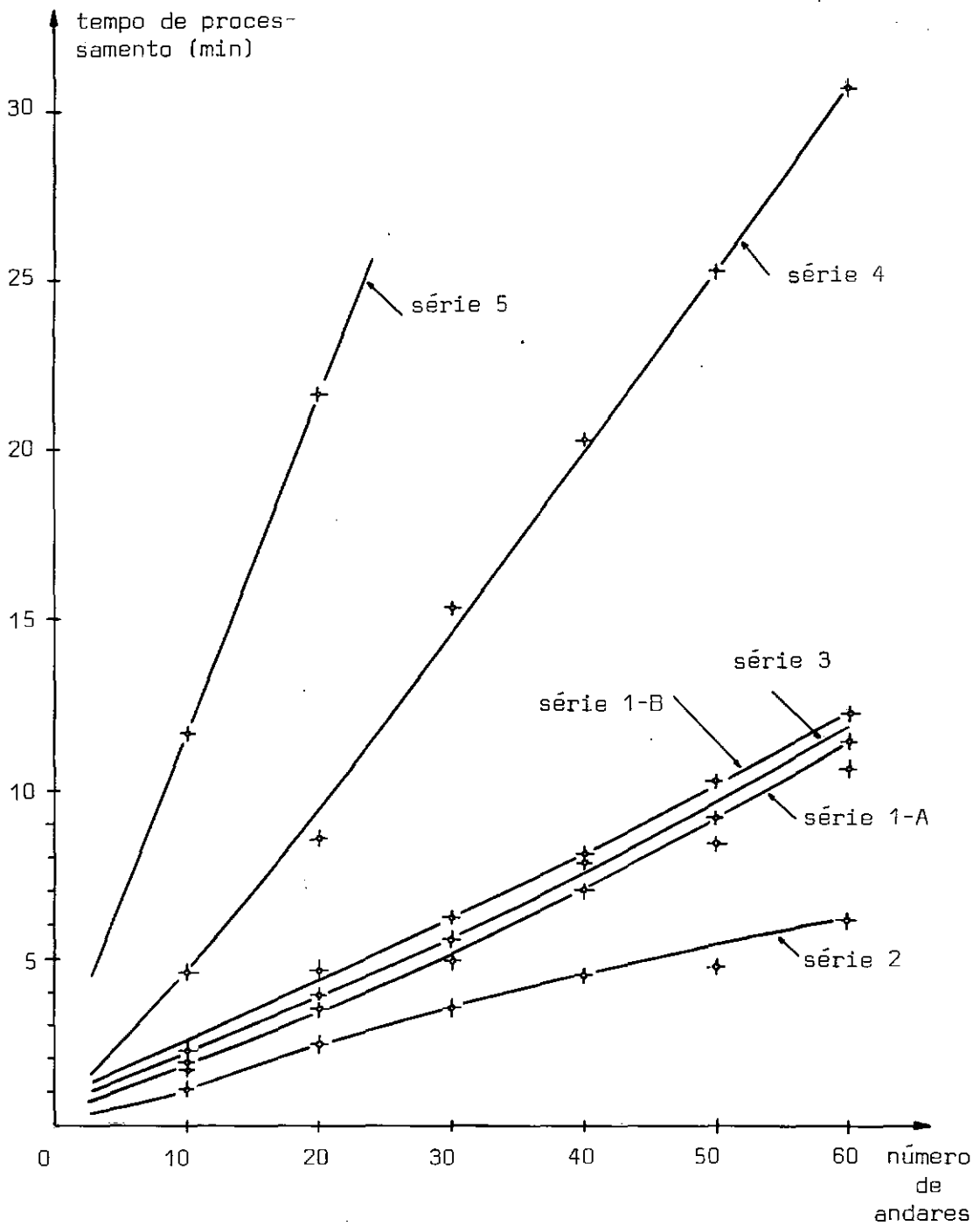


Fig. VII-6 Tempos de processamento das séries de exemplos de estruturas analisadas

## VII-2. CONCLUSÕES

O modelo estrutural adotado permite a análise de grande variedade de estruturas de edifícios. A programação desenvolvida permite o acréscimo de novas rotinas para a inclusão de elementos de outras formas geométricas diferentes das que foram estudadas no capítulo (III), bem como outros tipos de carregamento sobre vigas.

O aproveitamento da disposição dos coeficientes não nulos da matriz de rigidez da estrutura, que é de forma escalonada (eq. V-4), e também a observação da característica de faixa de largura variável desta matriz (fig. V-2), possibilitam o armazenamento econômico destes dados na memória central do computador e a conseqüente redução do preço da análise. Esta economia pode ser verificada pelo exame dos índices de esparsidade obtidos nos exemplos analisados (quadro VII-1), que variaram de 2,47 a 7,54% nas séries 1-A, 1-B, 3 e 4. Ao se aproveitar a condição de simetria da estrutura (confronte-se as séries 2 e 5 respectivamente com 1-A e 4), o aumento do índice de esparsidade foi plenamente compensado pela considerável redução dos tempos de processamento.

A subdivisão do sistema de equações (cap. V) em blocos confere à programação a vantagem de não limitar o número de pavimentos da estrutura que se deseja analisar. (ver item VI-5).

Considera-se que a hipótese da existência de lajes diafragmas e o conceito de deslocamentos de blocos de andares contribuem decisivamente para a boa flexibilidade da programação em aceitar a análise da estruturas de grande porte. Por exemplo, considere-se a estrutura de 60 andares da série 4 de problemas (item VII-1), com 30 nós por pavimento, que conduziu a um sistema de 5670 equações com largura de faixa 96 da matriz de rigidez. Se se trabalhasse com os deslocamentos absolutos



de andares, a largura de faixa máxima seria de 186, e se fossem considerados 6 graus de liberdade por ponto nodal (ou seja, abandonando-se a hipótese das lajes diafragmas) o número de equações elevar-se-ia para 10980, o que além de tornar difícil a análise e de obrigar o uso do recurso da precisão extendida no computador (para minimizar erros de truncamento no processo de cálculo), multiplicaria várias vezes o custo da análise.

Os erros de truncamento nos resultados dos exemplos estudados foram avaliados pela diferença entre as reações de apoio e as cargas solicitantes de cada estrutura (condição de equilíbrio estático). Em nenhum caso estes erros atingiram o valor de 0,01 %, ficando em geral bem abaixo desta porcentagem. Por este motivo, não se chegou a lançar mão do recurso da precisão extendida na programação.

Acredita-se serem úteis o sistema de codificação dos cartões de entrada à programação, apresentado no Apêndice A, bem como o conjunto de testes de consistência de dados realizado durante as etapas de leitura e processamento dos dados.

A P Ê N D I C E      A

MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA "ATEEL"

## A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA "ATEEL"

## A.1 FORMATO DOS CARTÕES DE DADOS

Visando a facilidade nas etapas de codificação e perfuração dos dados de entrada para o programa, adota-se um único formato para todos os cartões. Este formato é o especificado abaixo, e cada campo recebe um nome com o qual será referenciado no decorrer deste manual.

<u>Campo</u>	<u>Colunas</u>	<u>Conteúdo</u>
PC	1 - 5	Palavra chave
A	6 - 8	Dado alfanumérico
I1	9 - 11	Número inteiro
I2	12 - 14	" "
I3	15 - 17	" "
B	18 - 20	Código alfabético
R1	21 - 30	Número real
R2	31 - 40	" "
R3	41 - 50	" "
R4	51 - 60	" "
R5	61 - 70	" "
R6	71 - 80	" "

Não obedecem às especificações acima apenas os cartões destinados a títulos e comentários a serem impressos no relatório de saída.

A seguir serão feitas algumas considerações sobre a forma de se preencher cada um destes campos.

### A.1.1 CAMPO PC

O tipo de informação contido em cada cartão é definido por uma palavra chave perfurada no campo PC e pela posição do cartão na massa de dados, conforme será descrito no item A.2. Um cartão com o campo PC deixado em branco (quando for permitido) é interpretado pelo programa como contendo informações do mesmo tipo (ou como continuação) do cartão anterior; assim, em um conjunto de cartões seguidos e de mesmo tipo a palavra chave pode ser omitida a partir do segundo, se se desejar.

A seguir são listadas as palavras de uso permitido no campo PC. Devem ser perfuradas a partir da coluna 1, sendo que apenas os 4 caracteres iniciais são interpretados. Para compreensão do significado da palavra, esta é completada com letras minúsculas:

ESTRutura	VIGA
CONSTtantes	PILAR
COORDenadas	ANDAR
APEL (APoio ELástico)	CARGA
NO	C*** (comentários)
FLEXIbilidade (matriz)	RECALque (de apoio)
FIM	EXECute

### A.1.2 CAMPO A

É destinado a conter um dado alfanumérico qualquer, tal como nomes de vigas (V01, V 1, 4VA, etc.) ou de pilares (Pl0 , Pl2, C-2, etc.). Só pode ser utilizado em determinados cartões, a serem definidos adiante.

## A.1.3 CAMPOS I1, I2 E I3

Quando for permitido o seu uso, estes campos conterão ' números inteiros. Cada número inteiro deve ser escrito sem si nal, sem branco entre caracteres e sempre "encostados" à direita de seu campo. Exemplos:

	Correto	Errado
Campo →	↑↑↑	↑↑↑
	102	1 2
	23	23
	1	-1

(Observação: o formato I do FORTRAN permite brancos entre caracteres, interpretando-os como zeros).

## A.1.4 CAMPO B

Poderá conter determinados códigos alfabéticos, que serão definidos durante a descrição cartões no item A.2.

## A.1.5 CAMPOS R1, R2, R3, R4, R5 E R6

Estes são campos destinados a números reais, com ou sem o ponto decimal, com ou sem o sinal negativo e sem branco entre caracteres. Exemplos:

	Correto	Errado
Campo →	↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑
	1.43	1. 43
	1	+1
	-.23	- . 23
	300000	300000,00

(Observação: o formato F do FORTRAN interpreta brancos à direita do número como zeros.)

## A.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS E CODIFICAÇÃO DOS CARTÕES

As informações necessárias à definição completa de um problema são agrupadas em três blocos distintos de cartões de dados:

- BLOCO 1 - Dados gerais
- BLOCO 2 - Descrição da estrutura
- BLOCO 3 - Descrição dos carregamentos

Após o BLOCO 3 pode-se acrescentar o comando de execução (EXEC), caso se deseje a solução do problema. Em seguida pode-se definir um novo problema seguindo-se este mesmo esquema (BLOCOS 1, 2 e 3 e opção para a execução). O comando FIM interrompe o processamento incondicionalmente.

É impressa em relatório uma "imagem" de todos os cartões lidos e, se for o caso, mensagens de erro. O comando EXEC só será aceito quando não for detectado nenhum erro durante a fase de leitura e interpretação dos cartões do problema; no caso contrário o programa passará à leitura do problema seguinte.

Cartões para comentários (C\*\*\*) podem ser colocados à vontade na massa de dados.

A seguir são examinados um a um os cartões que compõem cada um dos BLOCOS acima citados, descrevendo-se conteúdos, funções e posições relativas entre eles. Para o perfeito entendimento acerca do preenchimento correto de cada cartão, deve-se obedecer às seguintes instruções:

- só devem ser preenchidos os campos indicados por uma seta (↑);
- conteúdos colocados entre plicas (') são informações alfabéticas ou alfanuméricas;
- as palavras chaves são escritas com maiúsculas;

Para a leitura deste manual é necessário ter em mente o seguinte:

- Cada cartão recebe uma designação composta pelo número do BLOCO a que pertence e uma letra (por exemplo, 1A, 1B, etc. para os cartões do BLOCO 1) para ser posteriormente referenciado de modo inequívoco. Não é conveniente fazer-se referência à palavra chave, pois esta às vezes tem mais de uma função dentro do BLOCO ou em outro.
- No contexto deste manual, entende-se por "sequência" o cartão que pode seguir-se ao que está sendo definido.
- Os significados das variáveis utilizadas, quando não encontrados no texto deste manual, poderão ser buscados no Apêndice B.
- Todas as numerações (dos nós, dos andares, etc.) devem seguir a ordem dos números naturais.

#### A.2.1 BLOCO 1 - DADOS GERAIS

Para o preenchimento dos cartões deste bloco são necessários os seguintes procedimentos preliminares:

- a) Escolher um sistema de unidades de medida (por exemplo o metro e a tonelada-força).
- b) Escolher o sistema de referência global da estrutura (eixos  $X_G$   $Y_G$   $Z_G$ ).
- c) Ter à mão as constantes físicas  $E$ ,  $G$  e  $\gamma_e$  do material da estrutura (este último - peso específico - somente quando se desejar o cálculo automático do peso próprio).
- d) Numerar os nós da estrutura ( $nn=1,2,3...$ ) e relacionar as suas coordenadas em planta ( $X_{nn}$ ,  $Y_{nn}$ ) no sistema de referên

cia global, obedecendo aos seguintes critérios:

- Todos os pontos nodais cujas projeções verticais sobre o plano  $X_G Y_G$  forem coincidentes podem ter o mesmo número (por exemplo, os nós de uma coluna vertical, ou os nós verticalmente alinhados dos extremos de várias vigas em balanço). Exceção a esta regra é o critério seguinte.
- Se uma coluna vertical contínua contiver mudanças da posição do eixo na passagem de um andar para outro, enquanto se mantiver essa continuidade os pontos nodais podem ter o mesmo número (fig. A-1). Neste caso as coordenadas a serem coletadas são as do nó superior (ver também o item A.2.2 k).

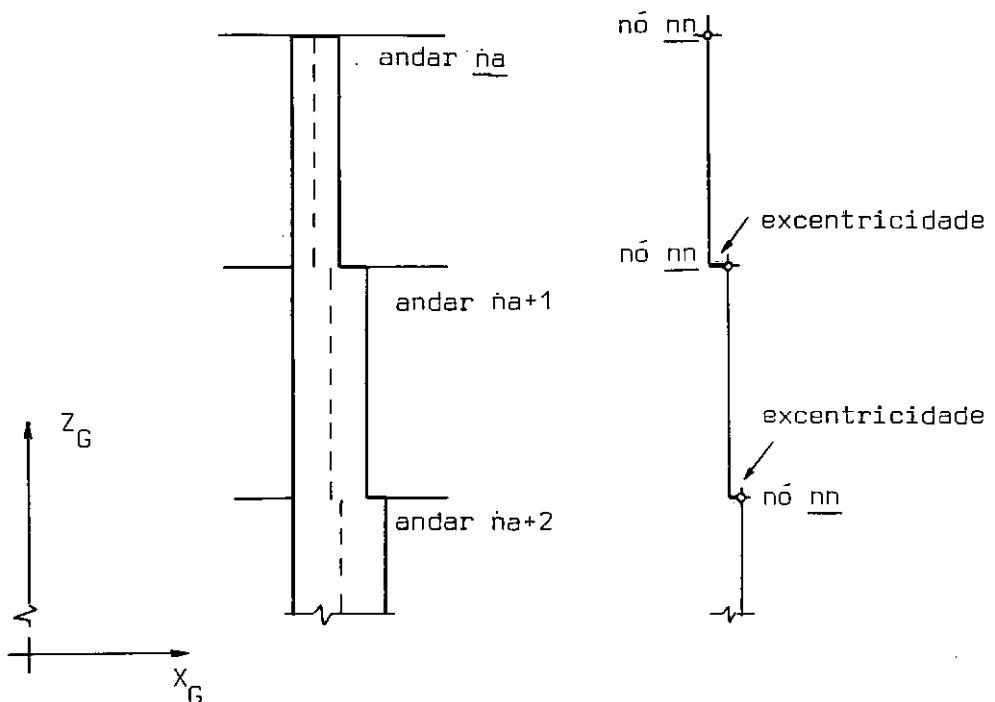


Fig. A-1 Pilar com mudança de eixo no plano  $X_G Z_G$



- e) Verificar no projeto as formas das vigas, dentro da seguinte convenção (onde não se cogita o comprimento da peça):
- forma simples: viga de eixo reto e seção transversal constante.
  - forma "CIR" : viga de eixo circular e seção transversal constante.
  - forma "MIS" : viga de eixo reto com mísulas retas verticais.
  - forma "FLX" : viga de outra forma qualquer, aqui considerada como "especial".
- f) Calcular os parâmetros geométricos  $I_x$ ,  $I_y$  e  $A_z$  de todas as seções transversais de formas simples, "CIR" e "MIS" e numerá-los (nsv=1,2,3...) em grupos.
- g) Havendo uma ou mais vigas de formas especiais ("FLX") calcular as matrizes de flexibilidade de um dos extremos de cada viga ( $F_{VLbb}$ ). Numerar estas matrizes (nfv=1,2,3...).
- h) Repetir o procedimento e para os pilares, considerando a não existência das formas "CIR" e "MIS".
- i) Calcular os parâmetros geométricos  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $A_z$ ,  $A_x$  e  $A_y$  de cada seção transversal diferente de forma simples, e numerar cada grupo de valores com nsp=1,2,3... .
- j) Havendo pilares de formas "FLX", calcular as matrizes de flexibilidade das extremidades superiores,  $F_{PLaa}$ , e numerá-las com nfp=1,2,3... .

\* \* \*

Os cartões do BLOCO 1 são descritos a seguir.

CARTÃO (1A)

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓						↓	↓	↓	↓	↓	↓
	ESTRU						'titulo do problema'					

Função: Armazenamento de um cabeçalho para impressão no relatório.

Posição: É o primeiro cartão do BLOCO 1.

Sequência: (1B).

CARTÃO (1B)

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓						↓	↓	↓			
	CONST						E	G	$\gamma_e$			

Função: Fornecimento das constantes elásticas e do peso específico do material.

Nota: O campo R3 é opcional.

Sequência: (1C).

CARTÃO (1C)

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓						↓	↓	↓	↓	↓	↓
	COORD						$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$

Função: Fornecimento das coordenadas dos nós da estrutura.

**Nota:** Os pares de coordenadas (x,y) devem ser fornecidos na ordem crescente da numeração nn dos pontos nodais, repetindo-se o cartão tantas vezes quantas forem necessárias para completar a informação.

**Sequência:** (1C) ou (1D).

### CARTÃO (1D)

**Conteúdo:**

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓			
	VIGA		nsv				I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	A <sub>z</sub>			

**Função:** Armazenamento dos parâmetros geométricos das seções transversais distintas das vigas com formas simples, "CIR" e "MIS".

**Nota :** O conjunto de cartões (1D) deve ser ordenado segundo a numeração nsv.

**Sequência:** (1D) ou (1E) ou (1F).

### CARTÃO (1E)

**Conteúdo:**

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓	↓	↓	↓
	FLEX		nfv				F <sub>44</sub>	F <sub>45</sub>	F <sub>46</sub>	F <sub>55</sub>	F <sub>56</sub>	F <sub>66</sub>

**Função:** Fornecimento das matrizes de flexibilidade das vigas de forma "FLX".

Notas: O conjunto de cartões (1E) deve ser ordenado segundo a numeração nfv;

F representa um coeficiente de flexibilidade  $F_{VL}$ .

Sequência: (1E) ou (1F).

### CARTÃO (1F)

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓	↓	↓	↓
	PILAR		nsp				$I_x$	$I_y$	$I_z$	$A_z$	$A_x$	$A_y$

Função: Armazenamento das propriedades geométricas das seções transversais dos pilares de "forma simples."

Nota: Ordenar os cartões (1F) segundo a numeração nsp.

Sequência: (1F) ou (1G).

### CARTÃO (1G)

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓	↓	↓	↓
	FLEX		nfp				$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	$F_{15}$	$F_{16}$
							$F_{22}$	$F_{23}$	$F_{24}$	$F_{25}$	$F_{26}$	$F_{33}$
							$F_{34}$	$F_{35}$	$F_{36}$	$F_{44}$	$F_{45}$	$F_{46}$
							$F_{55}$	$F_{56}$	$F_{66}$			

- Função:** Fornecimento das matrizes de flexibilidade dos pilares de forma "FLX".
- Notas:** É necessário um grupo de 4 cartões para se fornecer a matriz de flexibilidade  $F_{PLaa}$ . Apenas o primeiro cartão de cada grupo deve conter o número nfp, dispondo-se os vários grupos ordenadamente de acordo com esta numeração.
- Sequência:** (1G) ou BLOCO 2.

#### A.2.2 BLOCO 2 - DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Para o preenchimento dos cartões deste bloco são necessários os seguintes passos iniciais:

- a) Numerar os andares da estrutura ( $na=1,2,3,\dots$ ) a partir do topo do edifício e coletar as alturas dos pés direitos (pd). Consideram-se como pertencentes a um determinado andar as suas vigas e os pilares imediatamente abaixo delas.
- b) Para cada andar ter à mão, se fôr o caso, os coeficientes' de rigidez  $S_{dx}$ ,  $S_{dy}$  e  $S_{\theta z}$  dos apoios elásticos laterais, respectivamente nas direções das translações segundo  $X_G$  e  $Y_G$  e da rotação segundo  $Z_G$  (movimentos de corpo rígido do andar).
- c) Atribuir nomes às vigas da estrutura, com no máximo 3 ca-

racteres, obedecendo aos seguintes critérios:

- Vigas cujas extremidades são conectadas respectivamente a nós de mesmo número, situadas em andares distintos podem receber o mesmo nome, desde que sejam de mesma forma (simples, "CIR", "MIS" ou "FLX"). Variações no comprimento elástico, provocadas pelas modificações das excentricidades ("trechos rígidos") podem ser ignoradas, no que concerne a esta regra. Há entretanto uma única exceção, considerada no critério seguinte.
- Mesmo enquadradas na regra anterior, as vigas de forma "MIS" que tiverem pelo menos um dos parâmetros  $H$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $\lambda_a$  e  $\lambda_b$  diferentes receberão nomes diferentes.

d) Atribuir nomes aos pilares da estrutura, com no máximo 3 caracteres, dentro do seguinte critério:

- Pilares situados em andares distintos cujas extremidades superior e inferior estejam conectadas respectivamente a pontos nodais de mesmo número podem ter o mesmo nome, desde que sejam de mesma forma (simples ou "FLX"). Variações na altura do pé direito de um andar para outro não constituem motivo para a fuga deste critério. A figura (A-2) ilustra este procedimento.

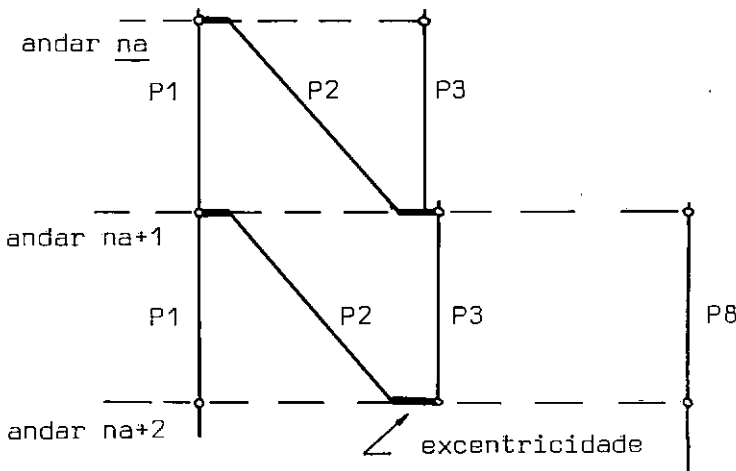


Fig. A-2 Nomes de pilares da estrutura

- e) Para cada viga, estabelecer o sistema de referência local  $X_L, Y_L, Z_L$ , definindo também a extremidade inicial  $i$  e a final  $f$ . Para uma viga de forma especial ("FLX"), a extremidade final é obrigatoriamente aquela para a qual foi calculada a matriz de flexibilidade  $F_{VLbb}$ .
- f) Medir as excentricidades das extremidades das vigas em relação aos pontos nodais,  $(x_i, y_i)$  e  $(x_f, y_f)$ , conforme ilustrado na figura (IV-1).
- g) No caso da viga ser de forma "CIR", medir o ângulo  $\phi$ , que será positivo se a concavidade do elemento estiver de acordo com a figura (III-3), ou negativo no caso contrário.
- h) Para cada viga de forma "MIS" medir os parâmetros geométricos  $H, h, b, \lambda_a$  e  $\lambda_b$  (fig. III-2).
- i) Preparar uma tabela de vigas, por andar, contendo:
- nome ('v').
  - nós inicial ( $nn_i$ ) e final ( $nn_f$ ).
  - número da seção transversal (nsv), ou da matriz de flexibilidade (nfv).
  - forma (simples, "CIR", "MIS" ou "FLX").
  - excentricidades  $(x_i, y_i, x_f, y_f)$ .
  - ângulo  $\phi$  (para vigas de forma "CIR").
  - valores de  $H, h, b, \lambda_a$  e  $\lambda_b$  (forma "MIS").
- j) Definir o sistema de referência local de cada pilar,  $X_L, Y_L, Z_L$ .
- k) Medir, em cada pilar, as excentricidades de seus extremos em relação aos nós inferior  $(x_i, y_i)$  e superior  $(x_s, y_s)$ , observando-se o seguinte:
- Se ambos os nós, inferior e superior, tiverem o mesmo número ( $nn$ ), após o processamento do andar em que se situa o pilar as coordenadas  $(x_{nn}, y_{nn})$  serão alteradas para  $(x_{nn} + x_i, y_{nn} + y_i)$ . A figura (A-1) esclarece o motivo desta alteração.

- l) Medir o ângulo  $\gamma$  de cada pilar inclinado (fig. VI-4).
- m) Preparar uma lista dos pilares da estrutura, por andar, relacionando:
- nome ('p').
  - número do nó superior ( $nn_s$ ) e do nó inferior ( $nn_i$ ).
  - número da seção transversal ( $nsp$ ) ou da matriz de flexibilidade ( $nfp$ ).
  - forma da seção (simples ou "FLX").
  - ângulo  $\gamma$  (para pilar inclinado).
  - excentricidades ( $x_i, y_i$ ) e ( $x_f, y_f$ ) das extremidades inferior e superior.
- n) Relacionar os pontos nodais ( $nn_e$ ) da base da estrutura correspondentes aos apoios elásticos, bem como os respectivos coeficientes de rigidez  $S_{\theta x}$ ,  $S_{\theta y}$  e  $S_{dz}$  (direções dos graus de liberdade independentes de nó).

\* \* \*

Segue-se a descrição dos cartões do BLOCO 2.

CARTÃO (2A) - ANDAR

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓					
	ANDAR		na				pd					



- Função:** Definição do número de um andar e da altura do pé direito. As informações contidas nos cartões seguintes são consideradas como relacionadas ao andar na, até a ocorrência de um novo cartão (2A).
- Notas:** Os andares são definidos a partir de  $na=1$ ;
- Se um andar for rigorosamente idêntico ao anterior (mesma altura, mesmas vigas e pilares igualmente dispostos e de mesmas formas, seções transversais, etc.), o cartão (2A) pode ser omitido para aquele andar. O último andar, entretanto, deve ser definido.
- Se  $na \neq 1$  e o valor de pd é o mesmo do andar anterior, o campo R1 pode ser deixado em branco.
- Posição:** Sendo  $na=1$ , é o primeiro cartão do BLOCO 2.
- Sequência:** Para  $na=1$ , (2B) ou (2C) ou (2D).
- Para  $na \neq 1$ , qualquer cartão deste bloco, ou então o BLOCO 3.

### CARTÃO (2B) - APOIOS ELÁSTICOS DE ANDAR

**Conteúdo:**

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓						↓	↓	↓	↓	↓	↓
	APEL						{S <sub>dx</sub> e}	{S <sub>dy</sub> e}	{S <sub>θz</sub> e}			

- Função:** Fornecimento dos coeficientes de rigidez dos apoios alásticos laterais do andar na.
- Notas:** Normalmente os coeficientes S em questão devem ser escritos nos campos R1, R3 e R5. Po-

rêm se se desejar escrevê-los na forma:

$$S = S_0 \cdot 10^e ,$$

então aqueles campos são destinados aos valores de  $S_0$  e os campos R2, R4 e R6 aos dos expoentes  $e$ .

Sequência:

Se  $na=1$ , (2C) ou (2D).

Se  $na \neq 1$ , qualquer cartão do mesmo bloco exceto (2B), ou o BLOCO 3.

#### CARTÃO (2C) - DEFINIÇÃO DE VIGA

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
	VIGA	'v'	nn <sub>i</sub>	nn <sub>f</sub>	nv	'f'	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>f</sub>	y <sub>f</sub>	φ	
							H	h	b	λ <sub>a</sub>	λ <sub>b</sub>	

Função:

Definir uma viga do andar na.

Notas:

nv=nsv se a viga for da forma simples, "CIR", ou "MIS".

nv=nfv se a viga for da forma "FLX".

'f' = ' ' para a forma simples;

'f' = 'CIR' para a forma "CIR";

'f' = 'MIS' para a forma "MIS";

'f' = 'FLX' para a forma "FLX".

O campo R5 só é preenchido para a forma "CIR".

Uma viga de forma "MIS" requer um cartão adicional, para a definição de H, h, b, λ<sub>a</sub> e λ<sub>b</sub>.

Se a viga 'v' se repetir nos andares seguintes sem qualquer modificação, não se precisa redefini-la.

Sequência: Se  $na = 1$ , (2C) ou (2D).

Se  $na \neq 1$ , qualquer cartão deste bloco exceto (2B), ou o BLOCO 3.

### CARTÃO (2D) - DEFINIÇÃO DE PILAR

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
	PILAR	'p'	$nn_s$	$nn_i$	$np$	'f'	$\gamma$	$x_i$	$y_i$	$x_s$	$y_s$	

Função: Definir um pilar do andar na.

Notas:  $np = nsp$  se a forma fôr simples;

$np = nfp$  se a forma fôr "FLX".

'f' = ' ' para a forma simples;

'f' = 'FLX' para a forma "FLX".

se  $nn_s = nn_i$  pode-se deixar o campo I2 em branco.

Se o pilar for vertical, deixar o campo R1 em branco.

Se o pilar 'p' se repetir nos andares seguintes sem qualquer modificação, não é necessário redefini-lo.

Sequência: (2A), (2D), (2F), (2H), (2I) ou BLOCO 3.

CARTÃO (2E) - MODIFICAÇÃO DE VIGA

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓			↓		↓	↓	↓	↓	↓	
	VIGA	'v'			nv		$x_i$	$y_i$	$x_f$	$y_f$	$\phi$	

Função:

A partir do andar na ao qual se relaciona o cartão, a viga 'v' terá algumas de suas características modificadas, a saber:

- se o campo I3 é não branco, será modificada a seção transversal, para vigas de forma simples ou CIR, ou a matriz de flexibilidade para vigas de forma 'FLX'.
- se pelo menos um dos campos R1, R2, R3 e R4 fôr não branco, serão modificadas todas as excentricidades dos extremos da viga em relação aos pontos nodais.
- se a viga é de forma CIR e o campo R5 contém algum valor, será modificado o ângulo central da viga.

Notas:

nv = nsv para vigas de formas simples ou CIR.  
nv = nfv para vigas de forma FLX.

Não se permite modificações em vigas de forma MIS.

Sequência:

Qualquer cartão do bloco exceto (2B), ou o BLOCO 3.

CARTÃO (2F) - MODIFICAÇÃO DE PILAR

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓			↓		↓	↓	↓	↓	↓	
	PILAR	'p'			np		$\gamma$	$x_i$	$y_i$	$x_s$	$y_s$	

Função:

A partir do andar na ao qual se relaciona o cartão, o pilar 'p' terá algumas de suas características modificadas, a saber:

- se o campo I3 é não branco, será modificada a seção transversal para pilares simples ou a matriz de flexibilidade para pilares de forma especial.
- se pelo menos um dos campos R indicados estiver preenchido, todos os parâmetros aí indicados serão modificados.

Notas:

np = nsp para pilares de forma simples;  
np = nfp para pilares especiais ("FLX").

Sequência:

(2A), (2D), (2F), (2H), (2I) ou BLOCO 3.

CARTÃO (2G) - SUPRESSÃO DE VIGA

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓										
	VIGA	'v'										

Função:

A viga de nome 'v' é suprimida a partir do andar na ao qual se relaciona a informação.

Sequência: Qualquer cartão do bloco exceto (2B), ou o BLOCO 3.

CARTÃO (2H) - SUPRESSÃO DE PILAR

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓										
	PILAR 'p'											

Função: O pilar de nome 'p' é retirado a partir do andar na para o qual a informação é válida.

Sequência: (2A), (2D), (2F), (2H), (2I) ou BLOCO 3.

CARTÃO (2I) - APOIOS ELÁSTICOS DA BASE

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓	↓	↓	↓
	APEL		nn				{S <sub>0x</sub> e}	{S <sub>0y</sub> e}	{S <sub>dz</sub> e}			

Função: Definição dos coeficientes de rigidez dos apoios elásticos da base da estrutura.

Notas: Ver "notas" do cartão (2B).

Posição: Se houverem apoios elásticos deste tipo, os cartões (2I) devem ser os últimos do bloco.

Sequência: BLOCO 3.

### A.2.3 BLOCO 3 - DESCRIÇÃO DOS CARREGAMENTOS

São os seguintes os procedimentos iniciais para a codificação dos cartões deste bloco:

- a) Atribuir uma numeração aos vários casos de carregamento a serem aplicados à estrutura ( $n_c = 1, 2, 3, \dots$ ). As instruções a seguir devem ser observadas para cada um destes casos separadamente.
- b) Dar um nome ao caso de carregamento.
- c) Verificar se se deseja o cálculo automático do peso próprio da estrutura (peso de vigas e de pilares).
- d) Listar as cargas laterais  $F_x$ ,  $F_y$  e  $M_z$  que atuarão sobre cada andar, no referencial global da estrutura.
- e) Para cada andar, listar as cargas  $F_z$ ,  $M_x$  e  $M_y$  que atuarão sobre os nós, no referencial global. Atribuir a  $F_z$  o sinal positivo se o sentido da carga for para baixo.
- f) Para cada viga, relacionar os carregamentos que nela serão aplicados, adotando as seguintes convenções:

- Para vigas de forma "simples":

CCZ - carga concentrada na direção  $Z_L$ :

P - valor da carga

a - distância da extremidade inicial ao ponto de aplicação da carga

CDZ - carga uniformemente distribuída vertical:

q - valor da carga

a - distância da extremidade inicial ao ponto de início do carregamento

b - idem, ao ponto final da linha de carga.

CTZ - Carga linearmente distribuída ("trapezoidal"),  
na direção vertical:

$p_a$  - valor inicial do carregamento

$p_b$  - valor final do carregamento

$a$  - distância do início da viga ao início do  
carregamento

$b$  - distância do ponto inicial da viga ao pon-  
to final da carga

MCX - Momento torsor (na direção  $X_L$ ):

$t$  - valor da carga

$a$  - distância do extremo inicial da viga ao  
ponto de aplicação do momento

MCY - Momento fletor aplicado (direção  $Y_L$ ):

$m$  - valor da carga

$a$  - distância entre o início da viga e a posi-  
ção do momento

- Para vigas de forma "MIS":

CCZ - carga concentrada vertical:

$P$  - valor da carga

$a$  - mesmos significados anteriores

CDZ - carga uniformemente distribuída total:

$q$  - valor da carga



- Para vigas de forma "CIR":

CCZ - carga concentrada vertical:

P - valor da carga

$\alpha$  - ângulo central entre o meio da viga e o ponto de aplicação da carga (positivo no sentido horário)

CDZ - carga uniforme total:

q - valor da carga

- Para vigas de formas especiais ("FLX"):

FLX - carga qualquer:

$A_{EL}$  - esforços de engastamento perfeito, no sistema de referência local

- g) Listar os valores dos recalques prescritos dos apoios da base do edifício, no sistema de referência global, ou seja, as rotações  $\delta_x$  e  $\delta_y$  e a translação vertical  $\delta_z$ .

\* \* \*

Nas páginas seguintes são mostrados os cartões do BLOCO

CARTÃO (3A) - DEFINIÇÃO DE UM CASO DE  
CARREGAMENTO

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓			↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	CARGA		nc			'g'	'título	.....	.....	.....	.....	.....

**Função:** Define o número do caso de carregamento, seu título e opção para o cálculo automático do peso próprio das vigas e pilares.

**Notas:** Havendo andares carregados lateralmente, nós e vigas com cargas ou recalques prescritos, a descrição destes deve seguir-se imediatamente após este cartão.

Os casos de carregamento devem ser fornecidos na ordem crescente da numeração nc.

'g' = 'PPR' se se quer considerar o peso próprio dos elementos estruturais; no caso contrário o campo B é deixado em branco.

**Posição:** Quando nc = 1, é o primeiro cartão do bloco.

**Sequência:** (3A), (3B), ou cartão EXEC, ou ainda os cartões de um novo problema (1A).

CARTÃO (3B) - DEFINIÇÃO DE ANDAR CARREGADO

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓			
	ANDAR		na				F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			

- Função:** Define um andar carregado (na), correspondente ao caso nc de carregamento do cartão (3A).
- Notas:** Omitindo-se este cartão para um andar qualquer na  $\neq 1$ , considera-se que os nós e as vigas desse andar são carregados como no andar anterior.
- Antes de se definir algum recalque de apoio, é preciso um cartão (3B) com o número do último andar (se já não houver um).
- Sequência:** (3A), (3B), (3C), (3D), (3E) (ver nota acima), EXEC ou (1A).

### CARTÃO (3C) - CARGAS SOBRE UM NÓ

**Conteúdo:**

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓			
	NO		nn				F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>			

- Função:** Dar as cargas que atuam no nó nn do andar na numerado no último cartão (3B).
- Sequência:** (3A), (3B), (3C), (3D), (3E), EXEC ou (1A).

### CARTÃO (3D) - CARGAS SOBRE AS VIGAS

São vários os possíveis conteúdos deste cartão, dependendo da forma da viga e do tipo de carregamento. Deve-se recorrer às instruções contidas no item A.2.3 f para compreendê-los.

## Conteúdos:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓	↓				↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	VIGA	'v'				CCZ	P	a				
	VIGA	'v'				CDZ	q	a	b			
	VIGA	'v'				CTZ	p <sub>a</sub>	a	p <sub>b</sub>	b		
	VIGA	'v'				MCX	t	a				
	VIGA	'v'				MCY	m	a				
	VIGA	'v'				CCZ	P	α				
	VIGA	'v'				FLX	A <sub>EL1</sub>	A <sub>EL2</sub>	A <sub>EL3</sub>	A <sub>EL4</sub>	A <sub>EL5</sub>	A <sub>EL6</sub>

Função: Descrever as cargas sobre as vigas.

Nota: Para carga distribuida uniformemente (CDZ) ou linearmente (CTZ), se  $b = L$  o campo correspondente pode ser deixado em branco.

Sequência: (3A), (3B), (3D), (3E), EXEC ou (1A).

CARTÃO (3E) - RECALQUES DOS APOIOS

## Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓		↓				↓	↓	↓			
	RECAL		nn				$\delta_x$	$\delta_y$	$\delta_z$			

Função: Define os recalques prescritos do apoio nn.

Sequência: (3A), EXEC ou (1A).

## A.2.3 CARTÕES COMPLEMENTARES

CARTÃO EXEC

Conteúdo:

Campos →

PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
↓											
EXEC											

Função:

Comanda a execução do problema.

Nota:

Se omitido, obter-se-á apenas a listagem dos cartões do problema e eventuais mensagens de erros.

Sequência:

(1A).

CARTÃO COMENTÁRIO

Conteúdo:

Campos →

PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C***	'comentários .....'										

Função:

Inclusão, na listagem, dos comentários que o usuário julgar interessantes para a sua documentação.

Sequência:

Qualquer cartão.

CARTÃO FIM

Conteúdo:

Campos →	PC	A	I1	I2	I3	B	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	↓											
	FIM											

Função: Interrompe o processamento (termina o "job").

## A-3. LISTA DAS MENSAGENS DE ERRO

<u>Código</u>	<u>Mensagem</u>
SQ-1	CARTÃO FORA DA SEQUÊNCIA PERMITIDA
S-1	PALAVRA CHAVE NÃO RECONHECIDA
S-2	NÚMERO REAL ERRADO
S-3	NÚMERO INTEIRO ERRADO
C-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE CONSTAN- TES
C-2	'E' OU 'G' NÃO DEFINIDO NO CARTÃO DE CONSTANTES
CD-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE COORDE- NADAS
TV-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE SEÇÃO- TIPO DE VIGA
TV-2	NENHUM PARÂMETRO DEFINIDO NO CARTÃO DE SEÇÃO-TIPO DE VIGA
TV-3	ERRO DE SEQUÊNCIA NA NUMERAÇÃO DA SEÇÃO-TIPO DE VIGA
TP-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE SEÇÃO- TIPO DE PILAR
TP-2	NENHUM PARÂMETRO DEFINIDO NO CARTÃO DE SEÇÃO-TIPO DE PILAR
TP-3	ERRO DE SEQUÊNCIA NA NUMERAÇÃO DA SEÇÃO-TIPO DE PI- LAR
A-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE ANDAR
A-2	ERRO DE SEQUÊNCIA NA NUMERAÇÃO DO ANDAR
A-3	ALTURA DO PÉ DIREITO NÃO DEFINIDO NO PRIMEIRO ANDAR
V-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE VIGA
V-2	NOME DA VIGA NÃO DEFINIDO NO CARTÃO
V-3	NÓ INICIAL, FINAL, OU SEÇÃO DE VIGA INDEFINIDO
V-4	NÓ INICIAL IGUAL AO NÓ FINAL NA DEFINIÇÃO DA VIGA
V-5	NÚMERO DO NÓ INICIAL E/OU FINAL MAIOR QUE O NÚMERO DE COORDENADAS
V-6	NÚMERO DA SEÇÃO DA VIGA MAIOR QUE O MÁXIMO DEFINIDO

<u>Código</u>	<u>Mensagem</u>
V-7	MAIS DE UMA REFERÊNCIA À MESMA VIGA NESTE ANDAR
V-8	NÓ DEFINIDO EM OPERAÇÃO DE MODIFICAÇÃO OU SUPRESSÃO DE VIGA
V-9	CÓDIGO DA FORMA DA VIGA NÃO RECONHECIDO
V-10	VIGA DE FORMA ESPECIAL - MATRIZ DE FLEXIBILIDADE NÃO DEFINIDA
V-11	NÃO É PERMITIDO MUDAR A FORMA DA VIGA
V-12	NÃO SÃO PERMITIDAS MODIFICAÇÕES EM VIGA COM MÍSULAS
V-13	FALTAM PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA VIGA COM MÍSULAS
V-14	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO PARA A VIGA COM MÍSULAS
P-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE PILAR
P-2	NOME DO PILAR NÃO DEFINIDO NO CARTÃO
P-3	NÓ OU SEÇÃO TRANSVERSAL DO PILAR INDEFINIDO
P-4	NÚMERO DE UM NÓ DO PILAR MAIOR QUE O DA MÁXIMA COORDENADA
P-5	NÚMERO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO PILAR MAIOR QUE O MÁXIMO DEFINIDO
P-6	MAIS DE UMA REFERÊNCIA AO MESMO PILAR NESTE ANDAR
P-7	NÓS ... DEFINIDOS EM OPERAÇÃO DE MODIFICAÇÃO OU SUPRESSÃO DE PILAR
P-8	CÓDIGO DA FORMA DO PILAR NÃO RECONHECIDO
P-9	NÃO SE PERMITE MODIFICAÇÃO DA FORMA DO PILAR
P-10	PILAR ESPECIAL COM MATRIZ DE FLEXIBILIDADE NÃO DEFINIDA
P-11	NENHUM PILAR FOI DEFINIDO NO PRIMEIRO ANDAR
CG-1	NUMERAÇÃO DO CARREGAMENTO FORA DE SEQUÊNCIA
CG-2	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE CARGA
CG-3	NÃO FOI LIDO NENHUM CARREGAMENTO. CANCELADO.
CA-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE CARGA SOBRE ANDAR
CA-2	ERRO DE SEQUÊNCIA NA NUMERAÇÃO DO ANDAR CARREGADO
CV-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE CARGA SOBRE A VIGA



<u>Código</u>	<u>Mensagem</u>
CV-2	NOME DA VIGA NÃO DEFINIDO NO CARTÃO DE CARGA
CV-3	NOME DE VIGA CARREGADA NÃO DEFINIDO NA ESTRUTURA
CV-4	TIPO DE CARGA NÃO RECONHECIDO
CV-5	DESCARREGAMENTO DE UMA VIGA NÃO CARREGADA ANTES
CV-6	PARAMETROS DA CARGA NÃO DEFINIDOS NO CARTÃO
CN-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO NO CARTÃO DE CARGA EM NÓ
CN-2	CARGA SOBRE UM NÓ NÃO DEFINIDO NA ESTRUTURA
CN-3	NENHUM PARÂMETRO DE CARGA DEFINIDO NO CARTÃO
CN-4	MAIS DE UMA REFERÊNCIA AO MESMO NÓ NESTE ANDAR
EV-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO OU DEIXADO EM BRANCO
EV-2	NUMERAÇÃO DA MATRIZ DE FLEX. FORA DE SEQUÊNCIA
FP-1	CAMPO INDEVIDAMENTE PREENCHIDO OU DEIXADO EM BRANCO
FP-2	MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DE PILAR INCOMPLETA
FP-3	NUMERAÇÃO DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DE PILAR FORA DE SEQUÊNCIA
DP-1	DESLOCAMENTO PRESCRITO EM APOIO NÃO EXISTENTE
AE-1	ESTE APOIO ELÁSTICO FOI DEFINIDO ANTES
DP-2	RECALQUE DE APOIO SÓ PODE SER DEFINIDO NO ANDAR TÉR- REO
DP-3	OS RECALQUES DESTES APOIOS FORAM DEFINIDOS ANTES
DI-1	REDIMENSIONE O VETOR X EM COMMON. MODIFIQUE TAMBÉM ESTE TESTE
DI-2	REDIMENSIONE O VETOR NVP EM COMMON. MODIFIQUE TAMBÉM ESTE TESTE
DI-3	REDIMENSIONE O VETOR B EM COMMON. MODIFIQUE TAMBÉM ESTE TESTE
DI-4	REDIMENSIONE O VETOR NVPA EM COMMON. MODIFIQUE TAM- BÉM ESTE TESTE
EX-1	ELEMENTO NULO OU NEGATIVO NA DIAGONAL PRINCIPAL. *** CANCELADO *** O ERRO OCORREU NO ANDAR ..., NÓ ...

A P Ê N D I C E      B

NOMENCLATURA

NOMENCLATURA

## Principais notações:

- $X_G, Y_G, Z_G$  - eixos do sistema de referência global  
 $X_L, Y_L, Z_L$  - eixos de um sistema de referência local  
 $E$  - módulo de elasticidade longitudinal  
 $G$  - módulo de elasticidade transversal  
 $L$  - vão elástico de viga ou pilar  
 $x_i, y_i, x_f, y_f, x_s, y_s$  - excentricidades dos extremos dos elementos em relação aos nós  
 $I_x, I_y, I_z$  - momentos de inércia (à flexão e à torção)  
 $A_x, A_y, A_z$  - áreas (efetiva ou para efeito do esforço cortante) de uma seção transversal  
 $f$  - fator de forma para cortante  
 $\phi$  - ângulo central de viga de eixo circular  
 $\alpha, \beta, \gamma$  - ângulos que relacionam sistemas de referência local e global  
 $\theta_x, \theta_y, \delta_z$  - deslocamentos prescritos (recalques)  
 $\underline{S}$  - matriz de rigidez  
 $\underline{A}$  - vetor de cargas  
 $\underline{D}$  - vetor de deslocamentos  
 $\underline{R}$  - matriz de rotação  
 $\underline{T}$  - matriz de transformação  
 $\underline{F}$  - matriz de flexibilidade  
 $\underline{F}_A$  - reações de apoio

## Índices utilizados:

- $V$  - de viga  
 $P$  - de pilar  
 $G$  - relativo ao sistema de referência global  
 $L$  - relativo ao sistema de referência local  
 $T$  - relativo à multiplicação por matriz de transformação  
 $R$  - relativo à multiplicação por matriz de rotação

A P Ê N D I C E      C

LISTAGEM DO PROGRAMA

```

8RESET FREE
C *** ARQUIVO PARA TITULOS
FILE 4(KIND=PACK,MAXRECSIZE=15,FILETYPE=7)
C *** ARQUIVO DE LEITURA
FILE 5=CARTAO,UNIT=READER
C *** ARQUIVO DE ERROS
FILE 6(KIND=PACK,TITLE="ATEEL/ERROS.",FILETYPE=7)
C *** ARQUIVO DE GRAVACAO DE MATRIZ DE RIGIDEZ
FILE 7(KIND=PACK,FILETYPE=6)
FILE 8=IMPRESS,UNIT=PRINTER
C *** ARQUIVO DE GRAVACAO DE DESLOCAMENTOS
FILE 9(KIND=PACK,FILETYPE=6)
C *** ARQUIVO DE MATRIZ SEMI-TRANSFORMADA DE VIGA
FILE 10(KIND=PACK,MAXRECSIZE=39,FILETYPE=7)
C *** ARQUIVO DE MATRIZ SEMI-TRANSFORMADA DE PILAR
FILE 11(KIND=PACK,MAXRECSIZE=91,FILETYPE=7)
C *****
C ***** PROGRAMA ATEEL *****
C *****
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28(6))
C *** B = MATRIZ DE RIGIDEZ
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPDS, NA, NOI, NOF, AV, AZ, ZI,
* COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
* NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
* S(12,12), SRC(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
* NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
* NCC, NCCA, N, NOB, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
* NZERO, ITIT
C=====
COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
* IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
* U, T, RAID
C=====
COMMON/QUATRO/ CHAVE, D(69), NI, NF, KT(9), DIGIT(13),
* ITABA(4,6), KPAR
C=====
COMMON/CINCO/ PALAV(13), ITAB(13,19), IFICA(4), IFLAG(6,2)
C=====
DATA PALAV/' ', 'VIGA', 'PILA', 'ANDA', 'CONS', 'COOR',
* 'ESTR', 'FLEX', 'APEL', 'CARG', 'NO ', 'RECA', 'EXEC'/
C=====
C *** DIGITOS E TABELA PARA A CONVERSAO EM 'TRANS'
* DIGIT/' ', '0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7',
* '8', '9', ITABA/1,6,-101,2,5,4,3,2,3,-101,-101,-101,
* 5,-101,3,4,5,-101,3,-101,-101,-101,-101,4/
C=====
C *** TABELA PARA TESTE DE SEQUENCIA
* ITAB/
* -1, -1, -1, -1, -1, -1, -2, -1, -1, -1, -1, -1, -1,
* -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2, -2,
* -3, -3, -3, -3, -3, -3, -4, -3, -3, -3, -3, -3, -3,
* 4, 5, -4, -4, -4, -4, -4, -4, -4, -4, -4, -4, -4,
* 5, 5, 7, -5, -5, -5, -5, 6, -5, -5, -5, -5, -5,
* 6, -6, 7, -6, -6, -6, -6, 6, -6, -6, -6, -6, -6,
* 7, -7, 7, 9, -7, -7, -7, 8, -7, -7, -7, -7, -7,
* 8, -8, -8, 9, -8, -8, -8, 8, -8, -8, -8, -8, -8,
* 9, 11, 12, 9, -9, -9, -9, -9, 10, 14, -9, -9, -9,
* -10, 11, 12, 9, -10, -10, -10, -10, 13, 14, -10, -10, -10,
* 11, 11, 12, 9, -11, -11, -11, -11, 13, 14, -11, -11, -11,
* 12, -12, 12, 9, -12, -12, -12, -12, 13, 14, -12, -12, -12,
* 13, -13, -13, -13, -13, -13, -13, -13, 13, 14, -13, -13, -13,
* 14, -14, -14, 15, -14, -14, 2, -14, -14, 14, -14, -14, 1,
* 15, 17, -15, 15, -15, -15, 2, -15, -15, 14, 16, 18, 1,
* 16, 17, -16, 15, -16, -16, 2, -16, -16, 14, 16, 18, 1,
* 17, 17, -17, 15, -17, -17, 2, -17, -17, 14, -17, 18, 1,
* 18, -18, -18, -18, -18, -18, 2, -18, -18, 14, -18, 18, 1,
* 19, 19, -19, -19, -19, -19, -19, -19, -19, -19, -19, -19/
C=====
C *** TIPOS DE CARREGAMENTO EM VIGA

```

```

      *IFLAG/'CCZ','CDZ','CTZ','MCX','MCY','EEP',2,3,4,2,2,6/
C=====
C *** CODIGOS DA FORMA DE VIGA E PILAR
      *IFICA/' ','CIR','MIS','FLX'/
C=====
C *** NUMERO DO ARQUIVO DE SAIDA
      IM=8
C *** NUMERO DO ARQUIVO DE TITULOS
      ITIT=4
C *** CONTADOR DE PROBLEMA
      NPROB=0
C *** TOLERANCIA PARA A LEITURA
      TOL=0.0001
1    CALL DADOS
      CALL RELAT
      CALL DEGRAU
C *** TESTE DE OCORRENCIA DE ERRO NA EXECUCAO
      IF (ICE.NE.0) GO TO 1
      CALL RESEQ
      CALL FORCA
      GO TO 1
END

```

```

      SUBROUTINE TRANS
C *****
C *** ESTA SUBROTINA CONVERTE DADOS EM AI P/- AS VARIAVEIS
C *****
      DIMENSION INTER(3)
C *** INTER=CAMPOS 11,12 E 13 DO CARTAO
      COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
      *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
      *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NCPR(5),
      *S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
      *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
      *NCC, NCCA, N, NCB, NDA, IOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
      *NZERO, ITIT
      COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
      *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
      *U, T, RAIO
      COMMON/QUATRO/ CHAVE, D(69), NI, NF, KT(9), DIGIT(13),
      *ITABA(4,6), KPAR
C=====
C *** CONVERSÃO DE NUMEROS INTEIROS
      DO 20 J=1,3
      INTER(J)=0
      KT(J)=0
      DO 15 K=1,3
      L=3*(J-1)+K
      DO 5 M=4,13
5    IF (D(L).IS.DIGIT(M)) GO TO 10
      IF ((D(L).IS.DIGIT(1)).AND.(KT(J).EQ.0)) GO TO 15

```

```

CALL ERRO ( 4 )
KT(J)=0
INTER(J)=0
GO TO 20
10 INTER(J)=10*INTER(J)+M-4
KT(J)=1
15 CONTINUE
20 CONTINUE
NI=INTER(1)
NF=INTER(2)
IT=INTER(3)
C *** NOS CARTOES 'CARG' E 'ESTR' NAO SE CONVERTE CAMPOS R1-R6
IF (CHAVE.IS.'CARG') RETURN
IF (CHAVE.IS.'ESTR') RETURN
C =====
C *** CONVERSAO DOS CAMPOS R1-R6
DO 60 J=1,6
IP=IPOS+J-1
X(IP)=0.
CASA=1.
IEST=1
KT(J+3)=0
DO 50 K=1,10
L=10*(J+1)-K
DO 25 M=1,13
IF (D(L).IS.DIGIT(M)) GO TO 30
25 CONTINUE
GO TO 55
30 IF (M.LT.4) GO TO (40,35,40),M
X(IP)=X(IP)+(M-4)*CASA
CASA=CASA*10
KT(J+3)=1
M=4
GO TO 40
35 X(IP)=X(IP)/CASA
CASA=1.
40 IEST=ITABA(M,IEST)
IF (IEST.LT.0) GO TO 55
50 CONTINUE
IF (IEST.EQ.3) X(IP)=-X(IP)
IF (IEST.NE.6) GO TO 60
55 CALL ERRO ( 3 )
KT(J+3)=0
X(IP)=0.
60 CONTINUE
C *** KPAR=CONTADOR DE CAMPOS R1-R6 NAO BRANCOS
KPAR=6
DO 70 J=1,6
K=10-J
IF (KT(K).GT.0) RETURN
70 KPAR=KPAR-1
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DADOS
C *****
C *** ESTA SUBR. LE CARTOES E TESTA SEQUENCIA E CONSISTENCIA
C *****
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28(00))
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
*COA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
*NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
*SC(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
*NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
*NCC, NCCA, N, NOB, NOA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
*NZERO, ITIT
COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RAIO
COMMON/QUATRO/ CHAVE, D(65), NI, NF, KT(9), DIGIT(13),
*ITABA(4,6), KPAR
COMMON/CINCO/ PALAV(13), ITAB(13,19), IFICA(4), IFLAG(6,2)
C=====
C *** ARQUIVO DE LEITURA
LE=5
1111 NPROB=NPROB*1
C *** LIMIT=CONTADOR DE POSICOES DO VETOR NVP, PARA TESTE
LIMIT=0
C *** NVPA=APONT. DE ENDEREÇOS DE ELEMENTOS E CARGAS EM NVP
NVPA(1)=0
C *** IPOS=CONTADOR DE POSICOES DO VETOR X (TAMBEM P/ TESTE)
IPOS=1
C *** IEXEC SERA' =1 SE FOR LIDO CARTAO 'EXEC'
IEXEC=0
C *** ICE = CONTADOR DE ERROS NA 'ERRO'
ICE=0
C *** IEST=ESTADO (COLUNA) DA TABELA DE TESTE DE SEQUENCIA
IEST=1
C *** ITVIG=CONTADOR DE SECCOES DE VIGAS
ITVIG=0
C *** ITPIL=CONTADOR DE SECCOES DE PILARES
ITPIL=0
C *** IFLXV=CONTADOR DE MATRIZES DE FLEX. DE VIGAS
IFLXV=0
C *** IFLXP=CONTADOR DE MATRIZES DE FLEX. DE PILARES
IFLXP=0
C *** NCOOR=CONTADOR DE NO'S NA DEFINICAO DE COORDENADAS
NCOOR=0
NA=0
NCC=0
NAPEL=0
DO 4 K=1,5
IPPR(K)=0
NOPR(K)=0
PD(1,2)=0.
PD(1,3)=0.
PD(1,4)=0.
9001 FORMAT(11,80(11))// 11,78X,11,17X,
C' COPPE/UF RJ - PROGRAMA DE ENGENHARIA CIVIL ',17X,
C' 11,78X,11,7X,11,ATEEL - ANALISE ',
C' TRIDIMENSIONAL DOS ESFORÇOS EM EDIFICIOS ',
C' ELEVADOS ',6X,11,78X,11,78X,11,
C' 11,7X,11,TESE M.SC.',11X,11,AUTOR - ENG. VILAR ',
C' FIUZA DA CAMARA JUNIOR ',7X,11,78X,11,
C' 11,80(11)//////)
C=====
1 READ(LE,9000) CHAVE,C,NOME,(D(J),J=1,9),INDIC,(D(J),
J=10,69)
C *** TESTE PARA A IMPRESSAO DO CABECALHO
C *** CABECALHO SE E' UM CARTAO 'ESTR'
IF (CHAVE.IS.'ESTR') WRITE(IM,9001)
C *** TESTE DO TAMANHO DO VETOR X
IF (IPOS.GT.1590) CALL ERRO ( 66 )

```



```

C *** TESTE DO TAMANHO DO VETOR NVP
  IF (LIMIT.GT.1590) CALL ERRO ( 67 )
C *** TESTE DE ULTIMO CARTAO
  IF (CHAVE.IS.'FIM.') STOP
9000  FORMAT(A4,A1,A3,5A1,A3,60A1)
      WRITE(IM,9500) CHAVE,C,NOME,(D(J),J=1,9),INDIC,(D(J),
      * J=10,69)
9500  FORMAT(' ',A4,A1,A3,9A1,A3,60A1)
      IF (CHAVE.IS.'C***') GO TO 1
      CALL TRANS
C=====
C *** ROTINA DE TESTE DE CHAVE *****
C=====
      DO 50 J=1,13
50     IF (CHAVE.IS.PALAV(J)) GO TO 55
      CALL ERRO ( 2 )
      GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE TESTE DE SEQUENCIA *****
C=====
55     IEST=ITAB(J,IEST)
C *** ESCOLHA DA 'ROTINA' ONDE SE FARAO TESTES DE CONSISTENCIA
      IF (IEST.GT.0) GO TO (80,150,100,200,300,350,400,450,
      * 500,1500,600,700,1500,1000,1100,1400,1200,1300,680), IEST
      IEST=-IEST
      CALL ERRO ( 1 )
      GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE EXECUCAO *****
C=====
80     IF (NCC.EQ.0) CALL ERRO ( 34 )
      IF (ICE.EQ.0) GO TO 9999
      WRITE(IM,9535) ICE
9535  FORMAT(' NUMERO DE ERROS',I4,' *** PROBLEMA '
      * 'INTERROMPIDO')
      GO TO 1111
9999  WRITE(IM,9540)
9540  FORMAT('/',' * * * * * NENHUM ERRO ENCONTRADO DURANTE A '
      * 'LEITURA DOS CARTOES * * * * *')
      WRITE(IM,9001)
      IF (NAC.EQ.NA) RETURN
C *** SE NAO FOI COMPLETADA CARGA NO ULTIMO ANDAR,
C *** E' PRECISO COMPLETAR OS APONTADORES DE END.
      NI=NA
      IEXEC=1
      KPAR=0
      GO TO 1105
C=====
C *** ROTINA DE CONSTANTES *****
C=====
100    IF (KT(1)+KT(2)+KT(3)+KT(7)+KT(8)+KT(9).NE.0)
      * CALL ERRO ( 5 )
      IF (KT(4)+KT(5).NE.2) CALL ERRO ( 6 )
      E=X(1)
      G=X(2)
      PESP=X(3)
      GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE TITULO *****
C=====
150    IT=NCC+1
      WRITE(ITIT,IT,155) (D(J),J=10,69)
155    FORMAT(60A1)
      GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE LEITURA DE COORDENADAS *****
C=====
200    IF (KT(1)+KT(2)+KT(3).NE.0) CALL ERRO ( 7 )
      NCOORD=NCOORD+3
      IPOS=IPOS+6

```

```

DO 210 K=1,3,2
J=9-K
IF (KT(J)+KT(J+1).NE.0) GO TO 1
NCOOR=NCOOR-1
210 IPOS=IPOS-2
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE LEITURA DE VIGAS-TIPO *****
C=====
300 IF (KT(2)+KT(3)+KT(7)+KT(8)+KT(9).NE.0) CALL ERRO ( 8 )
IF (KT(4)+KT(5)+KT(6).EQ.0) CALL ERRO ( 9 )
IF (NI.EQ.ITVIG+1) GO TO 310
CALL ERRO ( 10 )
GO TO 1
310 ITVIG=NI
IPOS=IPOS+3
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE MATRIZ DE FLEX. DE VIGA *****
C=====
350 IF ((KT(2)+KT(3).NE.0).OR.(KPAR.EQ.0)) CALL ERRO ( 48 )
IFLXV=IFLXV+1
IF (NI.NE.IFLXV) CALL ERRO ( 49 )
IPOS=IPOS+6
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE PILARES-TIPO *****
C=====
400 IF (KT(2)+KT(3).NE.0) CALL ERRO ( 11 )
IF (KT(4)+KT(5)+KT(6)+KT(7)+KT(8)+KT(9).EQ.0)
* CALL ERRO ( 12 )
IF (NI.EQ.ITPIL+1) GO TO 410
CALL ERRO ( 13 )
GO TO 1
410 ITPIL=NI
IPOS=IPOS+6
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE MATRIZ DE FLEX. DE PILAR *****
C=====
450 IF ((KT(2)+KT(3).NE.0).OR.(KPAR.EQ.0)) CALL ERRO ( 50 )
IT=IFLXP/4
IF ((IT*4.EQ.IFLXP).AND.(NI.NE.IT+1)) CALL ERRO ( 52 )
IFLXP=IFLXP+1
IPOS=IPOS+6
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE ANDARES *****
C=====
500 IF ((KT(2)+KT(3).NE.0).OR.(KPAR.GT.1)) CALL ERRO ( 14 )
IF (NA.NE.0) GO TO 510
C *** ROTINA DE PRIMEIRO ANDAR
NA=1
IF (NI.NE.1) CALL ERRO ( 15 )
IF (X(IPOS).LT.TOL) CALL ERRO ( 16 )
PD(1,1)=X(IPOS)
NVPA(1)=-3
NVPA(2)=-3
IF (IFLXP/4*4.NE.IFLXP) CALL ERRO ( 51 )
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DOS DEMAIS ANDARES
510 IF (NI.GE.NA+1) GO TO 515
CALL ERRO ( 15 )
GO TO 1
515 NA=NA+1
C *** REPETICAO DO PE' DIREITO E APOIOS ELASTICOS DE ANDAR
PD(NA,1)=PD(NA-1,1)
PD(NA,2)=PD(NA-1,2)
PD(NA,3)=PD(NA-1,3)

```

```

PD(NA,4)=PD(NA-1,4)
PD(NA+1,1)=0.
NVPA(2*NA-1)=NVPA(2*NA-2)
NVPA(2*NA)=NVPA(2*NA-2)
LIMIT=NVP(2*NA)
C *** SE HOUVE 'SALTO' DE ANDAR VOLTE PARA ATUALIZAR ENDEREÇOS
IF(NI.NE.NA) GO TO 515
C *** SE HOUVE NOVO PE' DIREITO, FAZER A TROCA
IF (X(IPOS).GT.TOL) PD(NA,1)=X(IPOS)
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE VIGAS *****
C=====
600 IF (KPAR.GT.5) CALL ERRO ( 17 )
IF (.NOT.(NOME.IS.' ')) GO TO 605
CALL ERRO ( 18 )
GO TO 1
C=====
605 IPF=-3
C *** TESTANDO A 'FORMA' DA VIGA
DO 620 L=1,4
IF (INDIC.IS.IFICA(L)) GO TO 625
620 CONTINUE
CALL ERRO ( 53 )
GO TO 1
C *** IDENT=0/1/2/3=VIGA SIMPLES/CIR/MIS/FLX
625 IDENT=L-1
IF ((IDENT.NE.3).AND.(IT.GT.ITVIG)) CALL ERRO ( 22 )
IF ((IDENT.EQ.3).AND.(IT.GT.IFLXV)) CALL ERRO ( 54 )
C=====
C *** VERIFICANDO SE E' VIGA A DEFINIR OU A MODIFICAR
DO 615 NAND=1,NA
IVI=IPF+4
IPF=NVP(2*NAND)
IVF=NVP(2*NAND-1)
IF (IVI.GT.IVF) GO TO 615
DO 610 K=IVI,IVF,4
J=NVP(K+1)/1000000
IF (J.NE.0) GO TO 610
IF (NVP(K).IS.NOME) GO TO 640
610 CONTINUE
615 CONTINUE
C=====
C *** ROTINA DE ACRESCIMO DE VIGA, OU DEFINICAO
IF ((NI.EQ.0).OR.(NF.EQ.0).OR.(IT.EQ.0)) CALL ERRO ( 19 )
IF (NI.EQ.NF) CALL ERRO ( 20 )
IF ((NI.GT.NCOORD).OR.(NF.GT.NCOORD)) CALL ERRO ( 21 )
NVP(IVF+5)=NI*1000+NF
NVP(IVF+6)=IT + IDENT*1000
NVP(IVF+7)=IPOS*10+KPAR
IPOS=IPOS+KPAR
GO TO 645
C=====
C *** MODIFICACAO OU SUPRESSAO DE VIGA
640 IF (NAND.EQ.NA) CALL ERRO ( 23 )
IF (KT(1)+KT(2).NE.0) CALL ERRO ( 24 )
IF (IDENT.NE.0) CALL ERRO ( 55 )
IF (NVP(K+2)/1000.EQ.2 ) CALL ERRO ( 56 )
IVF=NVP(2*NA-1)
NVP(K+1)=NVP(K+1)+(NA-1)*1000000
IF (IT+KPAR.EQ.0) GO TO 1
NVP(IVF+5)=NVP(K+1)-(NA-1)*1000000
NVP(IVF+6)=NVP(K+2)
IF (IT.NE.0) NVP(IVF+6)=NVP(IVF+6)/1000*1000+IT
NVP(IVF+7)=IPOS*10+KPAR
IF (KPAR.EQ.0) NVP(IVF+7)=NVP(K+3)
IPOS=IPOS+KPAR
645 NVP(IVF+4)=NOME
NVPA(2*NA-1)=IVF+4
NVPA(2*NA)=IVF+4

```

```

LIMIT=NVPA(2*NA)
IF (IDENT.EQ.2) IEST=19
GO TO 1
C=====
C *** COMPLETANDO A LEITURA DE UMA VIGA COM MISULA
680 IF (KPAR.NE.5) CALL ERRO ( 57 )
IF (KT(1)+KT(2)+KT(3).NE.0) CALL ERRO ( 70 )
IPOS=IPOS+5
IEST=11
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE PILARES *****
C=====
700 IF (KPAR.GT.5) CALL ERRO ( 25 )
IF (NF.EQ.0) NF=NI
C=====
C *** TESTE DA FORMA DO PILAR - IDENT=0/1=SIMPLES/FLX
IDENT=0
IF (INDIC.IS.' ') GO TO 702
IF (INDIC.IS.'FLX') GO TO 701
CALL ERRO ( 58 )
701 IDENT=1
702 IF (.NOT.(NOME.IS.' ')) GO TO 705
CALL ERRO ( 26 )
GO TO 1
705 IF ((INDIC.EQ.0).AND.(IT.GT.ITPIL)) CALL ERRO ( 29 )
IF ((INDIC.EQ.1).AND.(IT.GT.IFLXP)) CALL ERRO ( 60 )
C=====
C *** VERIFICANDO SE E' PILAR A DEFINIR OU A MODIFICAR
DO 715 NAND=1,NA
IPI=NVPA(2*NAND-1)+4
IPF=NVPA(2*NAND)
IF (IPI.GT.IPF) GO TO 715
DO 710 K=IPI,IPF,4
J=NVP(K+1)/1000000
IF (J.NE.0) GO TO 710
IF (NVP(K).IS.NOME) GO TO 740
710 CONTINUE
715 CONTINUE
C=====
C *** ROTINA DE DEFINICAO DE PILAR
IF ((NI.EQ.0).OR.(IT.EQ.0)) CALL ERRO ( 27 )
IF ((NI.GT.NCOORD).OR.(NF.GT.NCOORD)) CALL ERRO ( 28 )
NVP(IPF+5)=NI*1000+NF
NVP(IPF+6)=IT+IDENT*1000
NVP(IPF+7)=IPOS*10+KPAR
IF ((NI.EQ.NF).AND.(KPAR.GT.3)) CALL ERRO ( 25 )
IPOS=IPOS+KPAR
GO TO 745
C=====
C *** ROTINA DE MODIFICACAO DE PILAR
740 IF (NAND.EQ.NA) CALL ERRO ( 30 )
IF (KT(1)+KT(2).NE.0) CALL ERRO ( 31 )
IF (IDENT.NE.0) CALL ERRO ( 59 )
IPF=NVPA(2*NA)
NVP(K+1)=NVP(K+1)+(NA-1)*1000000
IF (IT+KPAR.EQ.0) GO TO 1
NVP(IPF+5)=NVP(K+1)-(NA-1)*1000000
NVP(IPF+6)=NVP(K+2)
IF (IT.NE.0) NVP(IPF+6)=NVP(K+2)/1000*1000+IT
NVP(IPF+7)=IPOS*10+KPAR
IF (KPAR.EQ.0) NVP(IPF+7)=NVP(K+3)
IPOS=IPOS+KPAR
IF ((NI.EQ.NF).AND.(KPAR.GT.3)) CALL ERRO ( 25 )
745 NVP(IPF+4)=NOME
NVPA(2*NA)=IPF+4
LIMIT=NVPA(2*NA)
GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE APOIOS ELASTICOS *****

```

```

C=====
C *** VERIFICANDO SE E' APOIO DE ANDAR OU DA BASE
1500 IF (NI.EQ.0) GO TO 1510
      IEST=13
      DO 1505 K=NA+1,NA+NAPEL
        J=PD(K,1)
        IF (J.NE.NI) GO TO 1505
        CALL ERRO ( 62 )
1505  CONTINUE
      NAPEL=NAPEL+1
      PD(J,1)=NI
1510  J=NA+NAPEL
      PD(J,2)=X(IPOS)*10.**X(IPOS+1)
      PD(J,3)=X(IPOS+2)*10.**X(IPOS+3)
      PD(J,4)=X(IPOS+4)*10.**X(IPOS+5)
      GO TO 1

C=====
C *** LEITURA DE UM CASO DE CARREGAMENTO *****
C=====
1000 IF (NCC.NE.0) GO TO 1005
      NAC=NA
      LPN=2*NA
      NVPA(LPN)=NVPA(LPN)+2
1005  NCC=NCC+1
      IF (NVPA(2).EQ.NVPA(1)) CALL ERRO ( 71 )
      IF (2*NA*(NCC+1).GT.375) CALL ERRO ( 69 )
      IF (NCC.NE.NI) CALL ERRO ( 32 )
      IF (KT(2)+KT(3).NE.0) CALL ERRO ( 33 )
      IT=NCC+1
      WRITE(ITIT*IT,155) (D(J),J=10,69)
      IF (INDIC.IS.*PPR*) IPPR(NCC)=1
      NI=NA
C *** SE CARGA ANTERIOR NAO FOI ATE NA, COMPLETAR APONTADORES
      IF (NAC.NE.NA) GO TO 1105
1010  NAC=0
      INCR=0
      GO TO 1

C=====
C *** LEITURA DE UM ANDAR CARREGADO *****
C=====
1100 IF ((KT(2)+KT(3).NE.0).OR.(KPAR.GT.3)) CALL ERRO ( 35 )
      IF (NI.GT.NA) CALL ERRO ( 47 )
      IF (NI.GE.NAC+1) GO TO 1105
      CALL ERRO ( 36 )
      GO TO 1
1105  NAC=NAC+1
      LPN=LPN+2
      NVPA(LPN-1)=NVPA(LPN-2)+1+INCR
      NVPA(LPN)=NVPA(LPN-1)-1
      LIMIT=NVPA(LPN)
      K=NVPA(LPN-1)
      IF (INCR.EQ.0) GO TO 1110
      N=NVPA(LPN-4)+2
      NVP(K)=NVP(N)
1110  IF (NI.NE.NAC) GO TO 1105
      IF (IEST.EQ.14) GO TO 1010
      IF (KPAR.EQ.0) GO TO 1115
      NVPA(LPN-1)=NVPA(LPN-1)+1-INCR
      NVPA(LPN)=NVPA(LPN)+1-INCR
      LIMIT=NVPA(LPN)
      K=K+1-INCR
      NVP(K)=IPOS*1000
      IPOS=IPOS+3
      INCR=1
1115  IF (IEXEC.EQ.1) RETURN
      GO TO 1

C=====
C *** ROTINA DE CARREGAMENTO EM VIGA *****
C=====
1200 IF (KT(1)+KT(2)+KT(3).NE.0) CALL ERRO ( 37 )

```

```

      IF (.NOT.(NOME.IS.' ')) GO TO 1205
      CALL ERRO ( 38 )
      GO TO 1
1205  IPF=-3
C=====
C *** VERIFICANDO SE A VIGA DADA FOI DEFINIDA ANTES
      DO 1230 NAND=1,NAC
      IVI=IPF+4
      IVF=NVPA(2*NAND-1)
      IPF=NVPA(2*NAND)
      IF (IVI.GT.IVF) GO TO 1230
      DO 1220 K=IVI,IVF,4
      J=NVP(K+1)/100000
      IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.NAC)) GO TO 1220
      IF (NOME.IS.NVP(K)) GO TO 1240
1220  CONTINUE
1230  CONTINUE
      CALL ERRO ( 39 )
      GO TO 1
C=====
1240  J=0
C *** SE O CAMPO B E' ERANCO, DESEJA-SE SUPRIMIR CARGAS/VIGA
      IF (INDIC.IS.' ') GO TO 1260
      IF (KPAR.EQ.0) CALL ERRO ( 42 )
C=====
C *** VERIFICANDO QUAL E' O TIPO DE CARGA SOBRE A VIGA
      DO 1245 K=1,5
      IF (INDIC.IS.IFLAG(K,1)) GO TO 1250
1245  CONTINUE
      CALL ERRO ( 40 )
      GO TO 1
C=====
C *** ACRESCENTANDO (NAO SUBSTITUINDO) UMA CARGA/VIGA
1250  NVPA(LPN)=NVPA(LPN)+2
      LIMIT=NVPA(LPN)
      IVF=NVPA(LPN)
      NVP(IVF)=NOME
      NVP(IVF+1)=IPOS*10+K
      IPOS=IPOS+IFLAG(K,2)
      J=1
      KPAR=0
C=====
C *** SUPRESSAO DAS CARGAS DEFINIDAS NA VIGA ANTERIORMENTE
1260  IF (NAC.EQ.1) GO TO 1290
      LPK=2*NCC*NA
      IF (KPAR.NE.0) CALL ERRO ( 40 )
      DO 1280 NAND=1,NAC-1
      LPK=LPK+2
      IPI=NVPA(LP K-1)+1
      IPF=NVPA(LP K)
      IF (IPI.GT.IPF) GO TO 1280
      DO 1270 K=IPI,IPF,2
      IF (NVP(K+1)/1000000.NE.0) GO TO 1270
      IF (.NOT.(NOME.IS.NVP(K))) GO TO 1270
      J=1
      NVP(K+1)=NVP(K+1)+(NAC-1)*1000000
1270  CONTINUE
1280  CONTINUE
1290  IF (J.EQ.0) CALL ERRO ( 41 )
      GO TO 1
C=====
C *** ROTINA DE RECALQUE DE APOIO *****
C=====
1300  IF (N.NE.NA) CALL ERRO ( 63 )
      NDPR(NCC)=NDPR(NCC)+1
      DO 1310 K=NA+1,NA+NAPEL
      J=PD(K,1)
      IF (J.NE.NI) GO TO 1310
      CALL ERRO ( 64 )
1310  CONTINUE

```

```

C=====
C *** ROTINA DE CARREGAMENTO DE NO' *****
C=====
1400 IF ((KT(2)*KT(3).NE.0).OR.(KPAR.GT.3)) CALL ERRO ( 43 )
      IF ((NI.EQ.0).OR.(NI.GT.NCCOR)) CALL ERRO ( 44 )
      LPK=2*NCC*NA+2
C=====
C *** VERIFICANDO SE E' CARGA NOVA OU A MODIFICAR
      DO 1415 NAND=LPK,LPN,2
      IVI=NVPA(NAND-2)+2
      IVF=NVPA(NAND-1)
      IF (IEST.EQ.18) GO TO 1415
      IF (IVI.GT.IVF) GO TO 1415
      DO 1410 K=IVI,IVF
      J=NVP(K)/10000000
      IF (J.GT.0) GO TO 1410
      J=NVP(K)/1000
      IF (NVP(K)-J*1000.EQ.NI) GO TO 1450
1410 CONTINUE
1415 CONTINUE
C=====
C *** DEFINICAO DE CARGA SOBRE UM NO'
      NVPA(LPN-1)=NVPA(LPN-1)+1
      NVPA(LPN)=NVPA(LPN-1)-1
      LIMIT=NVPA(LPN)
      NVP(IVF+1)=IPOS*1000+NI
      IPOS=IPOS+3
      IF (KPAR.EQ.0) CALL ERRO ( 45 )
      GO TO 1
C=====
C *** MODIFICACAO OU SUPRESSAO DE CARGA SOBRE NO'
1450 IF (NAND.EQ.LPN) CALL ERRO ( 46 )
      NVP(K)=NVP(K)+(NAC-1)*10000000
      IF (KPAR.EQ.0) GO TO 1
      NVPA(LPN)=NVPA(LPN)+1
      LIMIT=NVPA(LPN)
      NVPA(LPN-1)=NVPA(LPN-1)+1
      IVF=NVPA(LPN-1)
      NVP(IVF)=IPOS*1000+NI
      IPOS=IPOS+3
      GO TO 1
END

```

```

SUBROUTINE ERRO (I)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA LE E IMPRIME MENSAGEM DE ERRO
C *****
  DIMENSION MENS(20)
  COMMON/DOIS/ ICE, IM, IFOS, NA, NOI, NOE, AY, AZ, ZI,
  *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
  *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPI, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
  *S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
  *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
  *NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
  *NZERO, ITIT
C=====
  IERRO=6
  ICE=ICE+1
  READ (IERRO,1,5000) MENS
5000  FORMAT (20A4)
6000  WRITE(IM,6000) ICE, MENS
  FORMAT(' ***** ERRO ',I5,' ***** COD. ',A4,' - ',19A4/)
  RETURN
  END

```

```

SUBROUTINE RELAT
C *****
C *** ESTA SUBROTINA LISTA UM RELATORIO DESCRITIVO
C *****
  REAL*8 B
  COMMON/UM/ B(28000)
  COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOE, AY, AZ, ZI,
  *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
  *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPI, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
  *S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
  *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
  *NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
  *NZERO, ITIT
  COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCDOR, ITVIG, FI,
  *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
  *U, T, RAIO
  COMMON/QUATRO/ CHAVE, C(69), NI, NF, NT(9), DIGIT(13),
  *ITABA(4,6), KPAR
C=====
  READ (ITIT,1,156) (D(J),J=1,15)
156  FORMAT(15A4)
  WRITE(IM,9002) NPROB, (C(J),J=1,15)
9002  FORMAT (' ',80(' ')/' '= ',7EX,' '= '/' '= ',9X,' PROBLEMA ',
  *NUMERO ',12,51X,' '= '/' '= ',5X,15A4,9X,' '= '/' '= ',78X,' '= '/
  * ',80(' '))
C
  DO 950 N=1,NA
  WRITE(IM,9515) N,PD(N,1)
9515  FORMAT(///' ANDAR NUMERO ',I3,' * PE' DIREITO =',

```



```

      * F6.2)
      IF ((N.EQ.1).OR.(NVPA(2*N-1).NE.NVPA(2*N-2))) GO TO 810
      WRITE(IM,9570)
9570 FORMAT('AS VIGAS DESTE ANDAR SAO IDENTICAS ',
      * 'AS DO ANDAR ANTERIOR')
      GO TO 845
810  IPF=-3
      WRITE(IM,9504)
9504 FORMAT(/' VIGA      NG'' I      NO'' F      SECAO'/)
      DO 840  NAND=1,N
      IVI=IPF+4
      IVF=NVPA(2*NAND-1)
      IPF=NVPA(2*NAND)
      IF (IVI.GT.IVF) GO TO 840
      DO 835  K=IVI,IVF,4
      J=NVP(K+1)/1000000
      IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.N)) GO TO 835
      NI=NVP(K+1)/1000
      NF=NVP(K+1)-NI*1000
      NI=NI-J*1000
      KPOS=NVP(K+3)/10
      NPOS=NVP(K+3)-KPOS*10
      J=NVP(K+2)-NVP(K+2)/1000*1000
      WRITE(IM,9505) NVP(K),NI,NF,J
9505 FORMAT(' ',A3,3I10)
835  CONTINUE
840  CONTINUE
845  IF ((N.EQ.1).OR.(NVPA(2*N).GT.NVPA(2*N-1)+3)) GO TO 850
      WRITE(IM,9575)
9575 FORMAT(' OS PILARES DESTE ANDAR SAO IGUAIS ',
      * 'AOS DO ANDAR ANTERIOR')
      GO TO 950
850  WRITE(IM,9506)
9506 FORMAT(/' PILAR      NG'' I      NO'' F      SECAO'/)
      DO 940  NAND=1,N
      IPI=NVPA(2*NAND-1)+4
      IPF=NVPA(2*NAND)
      IF (IPI.GT.IPF) GO TO 940
      DO 935  K=IPI,IPF,4
      J=NVP(K+1)/1000000
      IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.N)) GO TO 935
      NI=NVP(K+1)/1000
      NF=NVP(K+1)-NI*1000
      NI=NI-J*1000
      KPOS=NVP(K+3)/10
      NPOS=NVP(K+3)-KPOS*10
      J=NVP(K+2)-NVP(K+2)/1000*1000
      WRITE(IM,9505) NVP(K),NI,NF,J
935  CONTINUE
940  CONTINUE
950  CONTINUE
      RETURN
      END

```

## SUBROUTINE CONTRE

```

C *****
C *** ESTA SUBROTINA RELOCA A CONTRIBUICAO DE UM ANDAR
C *** PARA O ANDAR SEGUINTE NA MATRIZ DE RIGIDEZ
C *****
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28000)
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
* COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
* NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
* S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXF,
* NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
* NCC, NCCA, N, NOB, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
* NZERO, IT, IT
COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCDOR, ITVIG, FI,
* IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
* U, T, RAIO
C =====
ID=(NDA+2*NCC-2)*(NDA-3)/2+1
IE=ID+(NOB-NDA+3)*(NDA-3) - (NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
IC=(NOB+2*NCC+1)*NOB/2 - (NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
DO 50 IE=IB, IC
  B(IE)=0.
  IG=NOB-NDA+3
  DO 80 IL=1, NDA-3
    DO 60 IE=2, IL+NCC
      IB=IB-1
      ID=ID-1
      B(IB)=B(ID)
      IF (NOB-NDA+3+IL.GT.LF(N)) IG=IG-1
      DO 70 IE=1, IG
        IB=IB-1
        B(IB)=0.
      CONTINUE
    RETURN
  END

```

```

SUBROUTINE BLOCO
C *****
C ***  ESTA SUBROTINA TRIANGULARIZA A M.RIGIDEZ DE UM ANDAR
C *****
C  REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28000)
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
*COA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
*NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPII, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
*S(12,12), SR(12,5), PC(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
*NPRDB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
*NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TGL, IREGV(60), IREGP(60), NTGT,
*NZERO, ITIT
COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RAID
C  ABS(XY)=DABS(XY)
C  =====
IG=LF(N)
IB=0
IEF=LF(N)
K=NDA
IF (N.EQ.NA) K=NOB-1
DO 30 IL=1,K
IG=IG+NCC
IC=IB+1
ID=IC
C  =====
C ***  TESTE DE ELEMENTO NAO POSITIVO NA DIAGONAL PRINCIPAL
IF (B(ID).GT.1.E-20) GO TO 5
CALL ERRO ( 65 )
IL=(IL+2)/3
IF (IL-NNA(N)-1)800,820,840
800  WRITE(IM,860)N,NEX1(IL)
860  FORMAT(' *** ANDAR NUMERO',I4,' *** NO', NUMERO',I4)
RETURN
820  WRITE(IM,880) N
880  FORMAT(' *** ERRO EM UM DOS DESLOCAMENTOS DO ANDAR',I4)
RETURN
840  WRITE(IM,900) NEX2(IL)
900  FORMAT(' *** NO', NUMERO',I4,' DA BASE DA ESTRUTURA')
RETURN
C  =====
5  IA=IG
IEG=IEF
DO 20 IE=IL+1,IEF
IEG=IEG+1-IEG/NOB
IB=IC
IC=IC+1
YR=B(IC)/B(ID)
DO 10 IF=IE,IEF
IA=IA+1
IB=IB+1
B(IA)=B(IA)-B(IB)*YR
10  IA=IA+(IE-IL)*(1-IEG/NOB)+(NOB-IEF)*(IEG/NOB)
DO 15 IF=1,NCC
IA=IA+1
IB=IB+1
15  B(IA)=B(IA)-B(IB)/B(ID)*B(IC)
20  CONTINUE
IEF=IEF+1-IEF/NOB
IG=IG+IEF-IL
30  CONTINUE
IF (N.EQ.NA) RETURN
C  =====
C ***  GRAVACAO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM ANDAR
WRITE(7) (B(IE),IE=1,IB)
C  =====
C ***** TRANSFERENCIA DA CONTRIBUICAO DO ANDAR SEGUINTE *****
C ***** PARA O INICIO DO BLOCO, APOS A GRAVACAO *****

```

```

ID=1
DO 40 IE=I8+1,IA
  B(ID)=B(IE)
  ID=ID+1
RETURN
END

```

```

C *****
C SUBROUTINE NUMINT
C *****
C ***  ESTA SUBROTINA NUMERA INTERNAMENTE OS NOS DE UM ANDAR
C *****
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28000)
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
*COA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
*NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPII, NAPEL, IPPB(5), NDER(5),
*S(12,12), SR(12,5), PB(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
*NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
*NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
*NZERO, ITIT
COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RAIO
C =====
  IPF=-3
  IF (N.EQ.0) GO TO 3
  NINF=NNA(N)
  DO 2 NIN=1,NINF
    NEX1(NIN)=NEX2(NIN)
  2  NEX2(1)=0
  3  NINF=0
  L=N+1-N/NA
  DO 55 NAND=1,L
    IVI=IPF+4
    IVF=NVPA(2*NAND-1)
    IPF=NVPA(2*NAND)
    IF (IVI.GT.IPF) GO TO 55
    DO 50 K=IVI,IPF,4
      J=NVP(K+1)/1000000
      IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.L)) GO TO 50
      NI=NVP(K+1)/1000
      NF=NVP(K+1)-NI*1000
      NI=NI-J*1000
      IF (L.EQ.N) GO TO 12
      DO 5 NIN=1,NINF
        IF (NI.EQ.NEX2(NIN)) GO TO 10
      5  CONTINUE
      NINF=NINF+1
      NEX2(NINF)=NI
      IF (K.LE.IVF) GO TO 14
      10 GO TO 50

```

```

12      IF (K.LE.IVF) GO TO 50
14      DO 15 NIN=1,NINF
        IF (NF.EQ.NEX2(NIN)) GO TO 50
15      CONTINUE
        NINF=NINF+1
        NEX2(NINF)=NF
50      CONTINUE
55      CONTINUE
        NNA(N+1)=NINF
        IF (N.EQ.0) RETURN
C=====
C *** REORGANIZANDO OS NOS DO ANDAR SEGUINTE
        NEX2(NINF+1)=0
        NI=1
        DO 200 NIN=1,NNA(N)
        DO 150 NF=NI,NNA(N+1)
        IF (NEX2(NF).EQ.NEX1(NIN)) GO TO 180
150     CONTINUE
        GO TO 200
180     NINF=NEX2(NI)
        NEX2(NI)=NEX2(NF)
        NEX2(NF)=NINF
        NI=NI+1
200     CONTINUE
        RETURN
        END

```

```

SUBROUTINE FAIXA
C *****
C *** ESTA SOBROTINA CALCULA A LARGURA DE FAIXA DE UM ANDAR
C *****
C      REAL*8 B
      COMMON/UM/ B(28000)
      COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
      *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
      *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPII, NAPEL, IPPR(5), NOPR(5),
      *S(12,12), SR(12,5), PC(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
      *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
      *NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
      *NZERO, ITIT
      COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
      *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
      *U, T, RAIO
C=====
      LF(N)=-1
      DO 100 NAND=1,N
        IPI=NVPA(2*NAND-1)+4
        IPF=NVPA(2*NAND)
        IF (IPI.GT.IPF) GO TO 100
        DO 90 K=IPI,IPF,4
          J=NVP(K+1)/1000000

```

```

        IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.N)) GO TO 90
        NI=NVP(K+1)/1000
        NF=NVP(K+1)-NI*1000
        NI=NI-J*1000
        DO 60 NIN=1,NNA(N)
        IF (NEX1(NIN).EQ.NI) GO TO 65
60      CONTINUE
65      NI=NIN
        DO 70 NIN=1,NNA(N+1)
        IF (NEX2(NIN).EQ.NF) GO TO 75
70      CONTINUE
75      NF=NIN-NI
        IF (NF.GT.LF(N)) LF(N)=NF
90      CONTINUE
100     CONTINUE
        LF(N)=(LF(N)+NNA(N)+2)*3
        IF (LF(N).LT.NOBB-NDA+3) LF(N)=NOBB-NDA+3
        RETURN
        END

```

```

C ***** SUBROUTINE DSTRB (K) *****
C ***** ESTA SUBROTINA DISTRIBUI VALORES NA MATRIZ DE UM ANDAR *****
C *****
C      REAL*8 B
C      COMMON/UM, B(28000)
C      COMMON/DOIS, ICE, IM, IPOB, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
C      *COA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
C      *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPI, NAPEL, IPPR(5), NOFR(5),
C      *S(12,12), SR(12,9), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
C      *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
C      *NCC, NCCA, N, NOB, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
C      *NZERO, ITIT
C      COMMON/TRES, E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIC, FI,
C      *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
C      *U, I, RAIO
C      GO TO (100, 200, 300, 400), K
C ***** DISTRIBUICAO DE CARGAS NOS NO'S E NOS ANDARES *****
C *****
100     NOI=(NOI-1)*3
        IA=(2*NOB+2*NCC-NOI)*(NOI+1)/2-NCC+NCCA
        IA=IA-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
        IF (NOI.LT.NOB-LF(N)) IA=(LF(N)+NCC)*(NOI+1)-NCC+NCCA
        DO 110 IL=1,3
        B(IA)=B(IA)+AML(IL)
        IA=IA+LF(N)+NCC
        IF (NOI.GE.NOB-LF(N)) IA=IA-LF(N)+NOB-NOI-IL
110     CONTINUE
        RETURN
C *****

```

```

C ===== DISTRIBUICAO DOS ESF DE ENGASTAMENTO PERFEITO =====
C =====
400 NOI=(NOI-1)*3
   NOF=(NOF-1)*3
   IA=(2*NOB+2*NCC-NOI)*(NOI+1)/2-NCC+NCCA
   IA=IA-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
   IF (NOI.LT.NOB-LF(N)) IA=(LF(N)+NCC)*(NOI+1)-NCC+NCCA
   B(IA)=B(IA)-AML(1)*CCSA+AML(2)*SENA+AML(3)*(SX*SENA-
   * SY*CCSA)
   IA=IA+LF(N)+NCC
   IF (NOI.GE.NOB-LF(N)) IA=IA-LF(N)+NOB-NOI-1
   B(IA)=B(IA)-AML(1)*SENA-AML(2)*CCSA+AML(3)*(SX*CCSA+
   * SY*SENA)
   IA=IA+LF(N)+NCC
   IF (NOI.GE.NOB-LF(N)) IA=IA-LF(N)+NOB-NOI-2
   B(IA)=B(IA)-AML(3)
   IB=(2*NOB+2*NCC-NOF)*(NOF+1)/2-NCC+NCCA
   IB=IB-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
   IF (NOF.LT.NOB-LF(N)) IB=(LF(N)+NCC)*(NOF+1)-NCC+NCCA
   B(IB)=B(IB)-AML(4)*CCSA+AML(5)*SENA+AML(6)*(EX*SENA+
   * EY*CCSA)
   IE=IB+LF(N)+NCC
   IF (NOF.GE.NOB-LF(N)) IB=IB-LF(N) +NOB-NOF-1
   B(IB)=B(IB)-AML(4)*SENA-AML(5)*CCSA-AML(6)*(EX*CCSA-
   * EY*SENA)
   IB=IB+LF(N)+NCC
   IF (NOF.GE.NOB-LF(N)) IB=IB-LF(N) +NOB-NOF-2
   B(IB)=B(IB)-AML(6)
   NOI=NOI/3+1
   NOF=NOF/3+1
   RETURN
C =====
C ===== DISTRIBUICAO DA MATRIZ DE VIGA =====
C =====
200 NOI=(NOI-1)*3
   NOF=(NOF-1)*3
205 IB=NOF-NOI-3
   ID=NOB+NCC-NOF-3
   IA=(2*NOB+2*NCC-NOI+1)*NOI/2-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
   INC=0
   IF (NOI.GE.NOB-LF(N)) GO TO 207
   ID=LF(N)+NOI-NOF-3+NCC
   IA=(LF(N)+NCC)*NOI
   INC=1
207 CONTINUE
   DO 230 IL=1+(K-2)*3, 3+(K-2)*3
   DO 210 IC=IL, 3+(K-2)*3
   IA=IA+1
   B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
   IA=IA+IB
   DO 220 IC=4+(K-2)*3, 6+(K-2)*3
   IA=IA+1
   B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
   IA=IA+ID
   ID=ID+INC
230 IA=(2*NOB+2*NCC-NOF+1)*NOF/2-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
   ID=NOB+NCC-NOF-3
   INC=0
   IF (NOF.GE.NOB-LF(N)) GO TO 237
   IA=(LF(N)+NCC)*NOF
   ID=LF(N)-3+NCC
   INC=1
237 CONTINUE
   DO 250 IL=4+(K-2)*3, 6+(K-2)*3
   DO 240 IC=IL, 6+(K-2)*3
   IA=IA+1
   B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
   IA=IA+ID
   ID=ID+INC
250 NOI=NOM/3+1

```

```

NGF=NOF/3+1
RETURN
C =====
C ***** DISTRIBUICAO DA MATRIZ DE PILAR *****
C =====
300 NOI=(NOI-1)*3
    NOF=(NOF-1)*3
    NOM=NNA(N)*3
    IA=(2*NOB+2*NCC-NOI+1)*NOI/2-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
    IB=NOM-NOI-3
    IF=NOF-NOM-3
    ID=NOB+NCC-NOF-3
    INC=0
    IF (NOI.GE.NOB-LF(N)) GO TO 350
    IA=(LF(N)+NCC)*NOI
    ID=LF(N)+NOI-NOF-3+NCC
    INC=1
350 CONTINUE
    DO 390 IL=1,3
        DO 360 IC=IL,3
            IA=IA+1
360     B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
            IA=IA+IB
            DO 370 IC=4,6
                IA=IA+1
370     B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
            IA=IA+IF
            DO 380 IC=7,9
                IA=IA+1
380     B(IA)=B(IA)+S(IL,IC)
            IA=IA+ID
390     ID=ID+INC
    IA=NOI
    NOI=NOM
    NOM=IA
    GO TO 205
END

```



```

SUBROUTINE DEGRAU
C *****
C *** ESTA SUBROTINA PREPARA OS DADOS PARA O CALCULO
C *** DAS MATRIZES DE RIGIDEZ E ESFORÇOS DE ENCASTAMENTO
C *** PERFEITO, E PROVIDENCIA A MONTAGEM NA MATRIZ
C *** GLOBAL E RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES
C *****
C DIMENSION SV(6,6)
C REAL*8 B
C COMMON/UM/ B(28000)
C COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPQS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
C *COSA, COSB, COSG, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
C *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPI, NAPEL, IPPR(5), NDPR(5),
C *S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
C *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
C *NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
C *NZERO, ITIT
C COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
C *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
C *U, T, RAO
C COS(XY)=DCOS(XY)
C SIN(XY)=DSIN(XY)
C =====
C N=0
C CALL NUMINT
C IREGV(1)=0
C IREGP(1)=0
C =====
C ESTE DO PREPARA O BLOCO DA MATRIZ DO ANCAR N ===
C DO 3200 N=1,NA
C MCV=0
C MCP=0
C *** CHAMADA A SUBROTINA QUE NUMERA INTERNAMENTE OS NOS *****
C CALL NUMINT
C NDA=(NNA(N)+1)*3
C NOB=NDA+NNA(N+1)*3
C *** CALCULO DA LARGURA DE FAIXA
C CALL FAIXA
C IF (N.EQ.1) GO TO 3197
C IREGV(N)=IREGV(N-1)
C IREGP(N)=IREGP(N-1)
C *** TRANSFERENCIA DA CONTRIBUICAO DO BLOCO ANTERIOR
C CALL CONTRB
C *****
C ROTINA PARA A MODIFICACAO DE COORDENADAS
C IPI=IVF+4
C IF (IPI.GT.IPF) GO TO 3196
C DO 3195 K=IPI,IPF,4
C J=NVP(K+1)/1000000
C NI=NVP(K+1)/1000
C NF=NVP(K+1)-NI*1000
C NI=NI-J*1000
C IF (NI.NE.NF) GO TO 3155
C KPOS=NVP(K+1)/10
C NPOS=NVP(K+1)-KPOS*10
C GO TO (3195,3195,3192,3191), NPOS+1
3191 X(2*NI)=X(2*NI)+X(KPOS+2)
3192 X(2*NI-1)=X(2*NI-1)+X(KPOS+1)
C MCV=1
C MCP=1
C IREGV(N)=N-1
C IREGP(N)=N-1
3195 CONTINUE
3196 IF (PD(N,1).EQ.PD(N-1,1)) GO TO 3198
C MCP=1
C IREGP(N)=N-1
C GO TO 3198
C =====
C MONTAGEM, NOS VETORES DE CARGAS, DO CARREGAMENTO
C LATERAL NOS ANDARES, E DAS CARGAS APLICADAS AOS NOS

```

```

C -----
3197 J=(NOB+1)*NOB/2 + NOB*NCC-(NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
C *** TESTE DO TAMANHO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DO ANDAR
      IF (J.LE.28000) GO TO 3189
      CALL ERRO ( 68 )
      RETURN
3189 DO 3194 K=1,J
3194 B(K)=C.
3198 DO 2100 NCCA=1,NCC
      LPK=2*NCCA*NA-1
      DO 2050 NAND=1,N
        LPK=LPK+2
        IVI=NVPA(LP K-1)+2
        IVF=NVPA(LP K)
        IF (IVI.GT.IVF) GO TO 2050
        DO 2040 K=IVI,IVF
          J=NVP(K)/10000000
          IF ((J.NE.C).AND.(J.LT.N)) GO TO 2040
          KPQS=NVP(K)/1000
          NOI=NVP(K)-KPQS*1000
          KPQS=KPQS-J*10000
          AML(1)=X(KPQS)
          AML(2)=X(KPQS+1)
          AML(3)=X(KPQS+2)
C *** MONTAGEM DOS DESLOCAMENTOS PRESCRITOS
      IF (N.NE.NA) GO TO 2005
      IF (NDPR(NCCA).EQ.C) GO TO 2005
      IF (IVI.LE.IVF-NDPR(NCCA)) GO TO 2005
      DO 2010 NIN=1,NNA(N A+1)
        IF (NOI.EQ.NEX2(NIN)) GO TO 2015
2010 CONTINUE
      CALL ERRO ( 61 )
      RETURN
2015 NOI=NNA(N)+1+NIN
      GO TO 2035
2005 IF (NOI.EQ.C) GO TO 2025
      AML(1)=X(KPQS+1)
      AML(2)=X(KPQS+2)
      AML(3)=X(KPQS)
      DO 2020 NIN=1,NNA(N)
        IF (NOI.EQ.NEX1(NIN)) GO TO 2030
2020 CONTINUE
2025 NIN=NNA(N)+1
2030 NOI=NIN
2035 CALL DSTRB(1)
2040 CONTINUE
2050 CONTINUE
2100 CONTINUE
C *****
C ***** PREPARA VIGAS E COLUNAS ATE O ANDAR N P/ MONTAGEM
C *****
      IPF=-3
C *** VARRENDO ANDAR POR ANDAR ATE N E COLETANDO CADOS
C *** A RESPEITO DE VIGAS E COLUNAS
      DO 3190 NAND=1,N
        IVI=IPF+4
        IVF=NVPA(2*NAND-1)
        IPF=NVPA(2*NAND)
        IF (IVI.GT.IPF) GO TO 3190
        DO 3180 K=IVI,IPF,4
          J=NVP(K+1)/1000000
          IF ((J.NE.C).AND.(J.LT.N)) GO TO 3180
          IDENT=NVP(K+2)/1000
          IT=NVP(K+2)-IDENT*1000
          NI=NVP(K+1)/1000
          NF=NVP(K+1)-NI*1000
          NI=NI-J*1000
          KPDS=NVP(K+3)/10
          NPOS=NVP(K+3)-KPDS*10
          SX=0.

```

```

SY=0.
EX=0.
EY=0.
VX=X(2*NF-1)-X(2*NI-1)
VY=X(2*NF)-X(2*NI)
IF (K.GT.IVF) GO TO 3100
C .....
C ..... AQUI SE INICIA A ROTINA PARA A MONTAGEM DA VIGA .....
C .....
GO TO (3035,3030,3025,3020,3015,3014), NPOS+1
3014 FI=X(KPOS+4)
3015 EY=X(KPOS+3)
3020 EX=X(KPOS+2)
3025 SY=X(KPOS+1)
3030 SX=X(KPOS)
3035 V=VX**2+VY**2
Z=SQRT(V-(EY-SY)**2)
SENA=(VY*Z-VX*(EY-SY))/V
COXA=(VX*Z+VY*(EY-SY))/V
V=Z-EX-SX
DO 3040 NIN=1,NNA(N)
C *** DETERMINACAO DOS NOS SEGUNDO A NUMERACAO INTERNA
IF (NI.EG.NEX1(NIN)) NOI=NIN
IF (NF.EG.NEX1(NIN)) NOF=NIN
3040 CONTINUE
C *** VERIFIC. DA FORMA DA VIGA (SIMPLES,CIRCULAR,MISULA,FLEX)
IF (IDENT.EQ.3) GO TO 3041
IT=2+NCDOR+(IT-1)*3
XI=X(IT+1)
YI=X(IT+2)
AX=X(IT+3)
IF (IDENT.NE.2) GO TO 3041
KPOS=KPOS+NPOS
HMA=X(KPOS)
HME=X(KPOS+2)
BL=X(KPOS+2)
ALA=X(KPOS+3)
ALB=X(KPOS+4)
C *** CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE VIGA NO SIST. LOCAL
3041 CALL MARIV (SV)
C .....
C ..... PREPARACAO PARA O CALCULO DOS ESF. DE ENCASTAMENTO :
C .....
DO 2200 NCCA=1,NCC
AML(1)=C.
AML(2)=0.
AML(3)=C.
AML(4)=0.
AML(5)=C.
AML(6)=C.
ZI=NVP(K)
C *** CALCULO DOS ESFORCOS DE ENCASTAMENTO PERFEITO
CALL CARGA (SV)
C *** DISTRIBUICAO NO VETOR DE CARREGAMENTO
IF (IT.NE.0) CALL DSTRB (4)
2200 CONTINUE
C .....
C *** ROTACAO E TRANSFORMACAO DA VIGA PARA O SISTEMA GLOEAL
CALL ROTRAN (SV)
IF ((NCV.NE.1).AND.(NNO.NE.N)) GO TO 3045
C *** GRAVACAO DA MATRIZ SEMI-TRANSFORMADA EM DISCO
WRITE(10)((SR(J,L),J=1,6),L=1,6),V,SX,EX
C *** TROCA DOS NOS DA VIGA, SE O INICIAL E' MAIOR QUE O FINAL
3045 IF (NOI.LT.NOF) GO TO 3050
M=NOI
NOI=NOF
NOF=M
C *** DISTRIBUICAO DA MATRIZ DA VIGA NA MATRIZ GLOBAL
3050 CALL DSTRE (2)
GO TO 318C

```

```

C .....
C ..... AQUI SE INICIA A MONTAGEM DOS PILARES .....
C .....
3100 GAMA=0.
C *** VERIFICACAO - PILAR VERTICAL OU NAO
      IF (NI.NE.NF) GO TO 3102
      IF ((NAND.NE.N).AND.(NPOS.GT.1)) NPOS=1
C *** CALCULO DOS PARAMETROS GEOMETRICOS
3102 GO TO (3110,3125,3120,3115,3110,3105), NPOS+1
3105 EY=X(KPOS+4)
3110 EX=X(KPOS+3)
3115 SY=X(KPOS+2)
3120 SX=X(KPOS+1)
3125 GAMA=X(KPOS)*3.141593/180.
3130 COSG=COS(GAMA)
      SENG=SIN(GAMA)
      TX=X(2*NI-1)-EX
      TY=X(2*NI)-EY
      IF (NI.EQ.NF) GO TO 3132
      VX=SX-EX-VX
      VY=SY-EY-VY
3132 VH=SQRT(VX**2+VY**2)
      V=SQRT(PD(N,1)**2+VH**2)
      COSB=PD(N,1)/V
      SENB=VH/V
      SENA=0.
      COSA=1.
      IF (VH.LT.TOL) GO TO 3135
      COSA=VX/VH
      SENA=VY/VH
C *** DETERMINACAO DOS NOS SEGUNDO A NUMERACAO INTERNA
3135 DO 3140 NIN=1,NNA(N)
      IF (NI.EQ.NEX1(NIN)) GO TO 3145
3140 CONTINUE
3145 NOI=NIN
      DO 3150 NIN=1,NNA(N+1)
      IF (NF.EQ.NEX2(NIN)) GO TO 3155
3150 CONTINUE
3155 NOF=NNA(N)+NIN+1
C *** CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ DE PILAR, JA TRANSFORMADA
      CALL MARIPI
      IF ((MCP.NE.1).AND.(NAND.NE.N)) GO TO 3170
C *** GRAVACAO DA MATRIZ SEMI-TRANSFORMADA EM DISCO
      WRITE(11)((SR(J,L),J=1,9),L=1,9),COSA,COSB,COSG,
      * SENA,SENB,SENG,SX,SY,AZ,V
C *** ESPALHAMENTO NA MATRIZ GLOEAL
3170 CALL DSTRB (3)
      DO 5000 NCCA=1,NCC
      IF (IPPR(NCCA).EQ.0) GO TO 5000
      SENA=0.
      COSA=0.
      AML(3)=0.5*PESP*V**2
      AML(6)=AML(3)
      IF (N.EQ.NA) AML(6)=0.
      CALL DSTRB (4)
      CONTINUE
5000 CONTINUE
3180 CONTINUE
3190 CONTINUE
C =====
C *** APOIOS ELASTICOS DE ANDAR
      NF=(2*NOB+2*NCC-NDA+4)*(NDA-3)/2-
      C (NOB-LF(N)+1)*(NOB-LF(N))/2
      NOI=NOB-NDA+2
      DO 3400 J=2,4
      NI=NF+1
      NF=NI+NOI+NCC
      NOI=NOI-1
C *** SOMAR COEFICIENTE DE RIGIDEZ DO APOIO ELASTICO DE ANDAR
      DO 3400 K=1,N
3400 B(NI)=B(NI)+PD(K,J)

```

IF (N.NE.NA) GO TO 3199

C=====

C \*\*\* APOIOS ELASTICOS INFERIORES E DESLOCAMENTOS PRESCRITOS

DO 3500 NIN=1,NNA(NA+1)

IF (NAPEL.EG.G) GO TO 3420

DO 3410 K=NA+1,NA+NAPEL

NOF=PD(K,1)

IF (NOF.EG.NEX2(NIN)) GO TO 3450

CONTINUE

3410 C \*\*\* MULTIPLICACAO POR NUMERO GRANDE

3420 DO 3440 J=1,1

NI=NF+1

NF=NI+NOI

NOI=NOI-1

B(NI)=(B(NI)+1.)\*1.E30

DO 3430 NCCA=1,NCC

NF=NF+1

B(NF)=B(NF)\*B(NI)

3430

3440

CONTINUE

GO TO 3500

3450

DO 3480 J=2,4

NI=NF+1

NF=NI+NOI

NOI=NOI-1

IF ((PD(K,J).LT.TOL).OR.(PD(K,J).GT.-TOL)) GOTO 3460

B(NI)=B(NI)+PD(K,J)

NF=NF+NCC

GO TO 3480

3460

B(NI)=B(NI)\*1.E30

DO 3470 NCCA=1,NCC

NF=NF+1

B(NF)=B(NF)\*B(NI)

3470

3480

CONTINUE

3500

CONTINUE

C=====

C \*\*\* CHAMADA A SUBROTINA PARA TRIANGULARIZACAO DO BLOCO

3199 CALL BLOCO

C \*\*\* TESTANDO SE HOUVE ERRO NA TRIANGULARIZACAO

IF (ICE.NE.O) RETURN

3200 CONTINUE

RETURN

END

```

SUBROUTINE CARGA (SV)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA CALCULA OS ESFORÇOS DE ENG. PERFEITO
C *****
  DIMENSION SV(6,6), SMIS(6,6)
C
  REAL*8 B
  COMMON/UM/ B(28000)
  COMMON/DOIS/ ICE, IM, IFOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
  *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
  *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NGFR(5),
  *S(12,12), SR(12,9), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
  *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
  *NCC, NCCA, N, NGE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
  *NZERG, ITIT
  COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
  *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
  *U, T, RATIO
C
C   COS(XY)=DCOS(XY)
C   SIN(XY)=DSIN(XY)
C   ALOG(XY)=DALOG(XY)
C=====
  IT=0
  LPK=2*NCCA*NA
  DO 2160 NAC=1,N
    LPK=LPK+2
    ICI=NVPA(LP K-1)+1
    ICF=NVPA(LP K)
    DO 2140 IC=ICI,ICF+2,2
      IF (IC.NE.ICF+2) GO TO 10
C=====
      IF (NAC.NE.N) GO TO 2140
C *** VERIFICANDO SE DEVE CONSIDERAR O PESO PROPRIO
      IF ((IPPR(NCCA).EQ.0).OR.(IDENT.EQ.3)) GO TO 2140
      IT=2
      P=PESP*AX
      VA=0.
      VB=V
      GO TO (2321,250,350), IDENT+1
C=====
10      J=NVP(IC+1)/100000
      IF ((J.NE.0).AND.(J.LT.N)) GO TO 2140
      IF (.NOT.(ZI.IS.NVP(IC))) GO TO 2140
      KPOS=NVP(IC+1)/10
      IT=NVP(IC+1)-KPOS*10
      KPOS=KPOS-J*100000
      P=X(KPOS)
      VA=X(KPOS+1)
      GO TO (100,200,300,400), IDENT+1
C=====
C *** CARGA EM VIGA DE EIXO RETO
100      GO TO (2310,2320,2330,2340,2350), IT
C *** CONCENTRADA
2310      VB=V-VA
      AML(9)=(P*VB/V)*(1.+VA/V/V*(VB-VA)/FI)
      AML(8)=(P*VB*VB/V-AML(9)*V)/2.
      AML(12)=P-AML(9)
      AML(11)=P*VB-AML(8)-AML(9)*V
      GO TO 2139
C *** UNIFORME PARCIAL
2320      VB=X(KPOS+2)
      IF (VB.LT.TOL) VB=V
2321      VC=(VB-VA)/2.
      VA=VA+VC
      VB=V-VA
2325      AML(9)=(2.*P*VC/V)*(VE+(VC*VC-VA*VB)*(VA-VE)/V/V/FI)
      AML(8)=P*VC/V*(VC*VC/3.+VB*VB)-AML(9)*V/2.
      AML(12)=2.*P*VC-AML(9)
      AML(11)=AML(12)*VB-AML(9)*VA-AML(8)
      GO TO 2139
C *** 'TRAPEZOIDAL' PARCIAL

```

```

233C      IF (X(KPOS+3).LT.TOL) X(KPOS+3)=V
          Q=X(KPOS+2)*P
          VC=(X(KPOS+3)-VA)/3.
          VA=VA+2.*VC
          VB=V-VA
          AML(9)=(1.5*G*VC/V)*(VE+((3.*VC*VC-2.*VA*VB)*(VA-VB)
          -.8*VC*VC*VC)/2./V/V/FI)
          AML(8)=.375*G*VC/V*(VC*VC+2.*VB*VE)-AML(9)*V/2.
          AML(12)=1.5*G*VC-AML(9)
          AML(11)=AML(12)*VB-AML(9)*VA-AML(8)
          VA=VA-VC/2.
          VB=VB+VC/2.
          VC=VC*1.5
          GO TO 2325
C ***    TORSOR APLICADO
2340      VB=V-VA
          AML(1)=AML(1)-P*VE/V
          AML(4)=AML(4)-P*VA/V
          GO TO 2140
C ***    FLETOR APLICADO.
2350      VB=V-VA
          AML(9)=-6.*F*VA*VB/V/V/V/FI
          AML(8)=-P*VB/V-AML(9)*V/2.
          AML(12)=-AML(9)
          AML(11)=-P-AML(8)-AML(9)*V
          GO TO 2139

C=====
C ***    CARGA EM VIGA CIRCULAR
200      GO TO (210,250),IT
C ***    CARGA CONCENTRADA EM VIGA CIRCULAR *****
210      ALFA=-VA*3.141593/180.
          SA=SIN(ALFA)
          CA=COS(ALFA)
          C1=SF**2.-SA**2.
          C2=SF*CF-SA*CA+ALFA=FI
          AML(7)=-P*RAIO**2.*((C1*SA/2.+C2*CA/2.+SA-SF*(FI-ALFA)
          *CA)/G/XI - (C1*SA/2.+C2*CA/2.)/E/YI)
          AML(8)=-P*RAIO**2.*((-C2*SA/2.+C1*CA/2.+CF-CA)/G/XI
          + ((FI-ALFA)*SA+C2*SA/2.-C1*CA/2.)/E/YI)
          AML(9)=P*RAIO**3.*((SIN(FI-ALFA)+ALFA-FI-CF*(C1*SA/2.+C2
          *CA/2.+SA-SF*(FI-ALFA)*CA)+SF*(-C2*SA/2.+C1*CA/2.+CF
          -CA))/G/XI + (SF*(FI-ALFA)+SA+C2*SA/2.-C1*CA/2.)*
          CF*(C1*SA/2.+C2*CA/2.)/E/YI)
          C1=RAIO*(CA-CF)
          C2=V/2.+RAIO*SA
          DO 220 J=4,6
220      AML(J+6)=-SV(J,4)*AML(7)-SV(J,5)*AML(8)-SV(J,6)*AML(9)
          AML(1)=AML(1)+P*C1-AML(10)
          AML(2)=AML(2)+V*AML(12)-P*C2-AML(11)
          AML(3)=AML(3)+P-AML(12)
          AML(4)=AML(4)+AML(10)
          AML(5)=AML(5)+AML(11)
          AML(6)=AML(6)+AML(12)
          GO TO 2140
C ***    CALCULO DE CARGA DISTRIBUICA TOTAL *****
250      AML(7)=P*RAIO**3.*T*SF*(1./G/XI-1./E/YI)
          AML(8)=P*RAIO**3.*((2.*SF-T*CF-2.*FI*CF)/G/XI +
          (2.*SF-U*CF)/E/YI)
          AML(9)=-P*RAIO**4.*((2.*T**2./G/XI + (2.*SF**2.-
          .5*(U-T)**2.)/E/YI)
          DO 260 J=4,6
260      AML(J+6)=-SV(J,4)*AML(7)-SV(J,5)*AML(8)-SV(J,6)*AML(9)
          C1=V/FI/2.-RAIO*CF
          AML(1)=AML(1)+P*RAIO**2.*FI-C1-AML(10)
          AML(2)=AML(2)+V*AML(12)-AML(11)-P*RAIO*FI*V
          AML(3)=AML(3)+P*RAIO*FI**2.-AML(12)
          AML(4)=AML(4)+AML(10)
          AML(5)=AML(5)+AML(11)
          AML(6)=AML(6)+AML(12)
          GO TO 2140

```

```

C=====
C *** CARGA EM VIGA COM MISULA
300 GO TO (310,350), IT
C *** CARGA CONCENTRADA EM VIGA COM MISULA *****
C *** CALCULO DOS PARAMETROS 'A' ESQUERDA
310 VE=V
V=VA
VA=ALB
ALA=ALA*VB/V
ALB=0.
CALL MARIV (SMIS)
C22=SMIS(5,5)
C25=SMIS(3,5)
C55=SMIS(3,3)
C1=SMIS(2,5)
C2=SMIS(2,3)
C3=SMIS(3,5)
C4=SMIS(3,3)
ALB=VA
VA=ALA*V/VB
C *** CALCULO DOS PARAMETROS 'A' DIREITA *****
V=VB-V
ALB=ALB*VB/V
ALA=0.
CALL MARIV (SMIS)
C22=C22+SMIS(2,2)
C25=C25+SMIS(2,3)
C55=C55+SMIS(3,3)
C=C22*C55-C25**2
G2= P*C25/C
G5=-P*C22/C
AML(8)=C1*G2-C2*G5
AML(9)=C3*G2-C4*G5
AML(11)=SMIS(2,5)*G2+SMIS(3,5)*G5
AML(12)=-SMIS(2,3)*G2-SMIS(3,3)*G5
ALB=ALB*V/VB
ALA=VA
V=VB
GO TO 2139
C *** CARGA UNIFORME TOTAL EM VIGA COM MISULA *****
350 C=HMA/HME-1.
C1=(C+2.)/2./(C+1.)**2
C2=1./2./(C+1.)*+2
C3=(ALOG(C+1.))-C*(3.*C+2.)/2./(C+1.)**2)/C**3
C4=(-3.*ALOG(C+1.))+C*(6.+9.*C+2.*C*C)/2./(C+1.)**2)/C**4
C4=1.-4.*(C1-3.*(C2-C3))-C4)
C3=1.-3.*(C1-2.*C2+C3)
C2=1.-2.*(C1-C2)
C22=1.-3.*ALA*(C1-ALA*C2)-(ALA**3+ALB**3)*C3
C25=1.-3.*(ALA**2+ALB**2)*C2+2.*(ALA**2+ALB**2)*C3
C55=1.-3.*ALB*(C1-ALB*C2)-(ALA**3+ALB**2)*C3
B2=1.-6.*ALA**2*C2+4.*(2.*ALA**2-ALB**2)*C3 -
3.*(ALA**4-ALB**4)*C4
B5=1.-6.*ALB**2*C2+4.*(2.*ALB**2-ALA**2)*C3 -
3.*(ALB**4-ALA**4)*C4
C4=4.*C22*C55-C25**2
G2=3.*(2.*C55*B2-C25*B5)/C
G5=3.*(2.*C22*B5-C25*B2)/C
AML(8)=-P*V*V/12.*G2
AML(11)= P*V*V/12.*G5
AML(9)=- (AML(8)+AML(11)-P*V*V/2.)/V
AML(12)=-AML(9)+P*V
GO TO 2139
C=====
C *** CARGA EM VIGA QUALQUER
400 AML(1)=AML(1)+X(KPOS)
AML(2)=AML(2)+X(KPOS+1)
AML(3)=AML(3)+X(KPOS+2)
AML(4)=AML(4)+X(KPOS+3)
AML(6)=AML(6)+X(KPOS+5)

```



```

      GC TO 2140
C=====
2139   AML(2)=AML(2)+AML(8)
      AML(3)=AML(3)+AML(9)
      AML(5)=AML(5)+AML(11)
      AML(6)=AML(6)+AML(12)
2140   CONTINUE
2160   CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

      SUBROUTINE MARIV (SV)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA CALCULA A M. DE RIGIDEZ NO SISTEMA LOCAL
C *****
      DIMENSION SV(6,6)
      REAL*8 B
      COMMON/UM/ B(28(6))
      COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
      *IT, IDENT, X(16(6)), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
      *U, T, RAIU
C   COS(XY)=DCOS(XY)
C   SIN(XY)=DSIN(XY)
C   ALOG(XY)=DALOG(XY)
C=====
      DO 1 J=1,6
      DO 1 L=1,6
      1   SV(J,L)=0.
      GO TO (10,30,50,70), IDENT+1
C=====
C *** GERACAO DE MATRIZ DE RIGIDEZ DE VIGA DE EIXO RETO
10      FI=1.
      IF (AX.GT.TOL) FI=1.+12.*E*YI/V/V/AX/G*1.2
      SV(1,1)=G*XI/V
      SV(1,4)=-SV(1,1)
      SV(4,4)=SV(1,1)
      SV(2,2)=(3./FI+1.)*E*YI/V
      SV(5,5)=SV(2,2)
      SV(2,3)=-6.*E*YI/V/V/FI
      SV(3,2)=SV(2,3)
      SV(2,6)=-SV(2,3)
      SV(3,5)=SV(2,3)
      SV(5,6)=SV(2,6)
      SV(6,5)=SV(5,6)
      SV(3,3)=2.*SV(2,6)/V
      SV(3,6)=-SV(3,3)
      SV(6,6)=SV(3,3)
      SV(2,5)=(3./FI-1.)*E*YI/V
      RETURN
C=====
C *** MATRIZ DE VIGA CIRCULAR

```

```

30  FI=FI*3.141593/360.
    U=FI+SIN(2.*FI)/2.
    T=2.*FI-U
    CF=COS(FI)
    SF=SIN(FI)
    RAIO=V/2./SF
    SV(4,4)=RAIO*(U/G/XI + T/E/YI)
    SV(4,5)=0.
    SV(4,6)=-RAIO**2.*((2.*SF-U*CF)/G/XI - T*CF/E/YI)
    SV(5,5)=RAIO*(T/G/XI + U/E/YI)
    SV(5,6)=-RAIO*SF*SV(5,5)
    SV(6,6)=RAIO**3.*((U*CF**2.+T*SF**2.-U+3.*T)/G/XI
    C + (U*SF**2.+T*CF**2.)/E/YI)
    CALL INVFLX(6,SV,V)
    RETURN

```

```

C=====

```

```

C *** MATRIZ DE VIGA COM MISULA
50  C=HMA/HME-1.
    C1=(C+2.)/2./(C+1.)**2
    C2=1./2./(C+1.)**2
    C3=(ALOG(C+1.))-G*(3.*(C+2.)/2./(C+1.)**2)/C**3
    C3=1.-3.*(C1-2.*C2+C3)
    C2=1.-2.*(C1-C2)
    C1=1.-C1
    C22=1.-3.*ALA*(C1-ALA*C2)-(ALA**3+ALB**3)*C3
    C25=1.-3.*(ALA**2+ALB**2)*C2+2.*(ALA**3+ALB**3)*C3
    C55=1.-3.*ALB*(C1-ALB*C2)-(ALA**3+ALB**3)*C3
    C=(HMA-HME)/(HME-.63*EL)
    C=ALOG(1.+C)/C
    F11=1./((1.-(ALA+ALB)*(1.-C))
    C=4.*C22*C55-C25**2
    F22=3.*C55/C
    F23=(C25+2.*C55)/C
    F25=3.*C25/C
    F33=(C22+C25+C55)/C
    F35=-2.*C22+C25)/C
    F55=3.*C22/C
    SV(1,1)=G*XI/V*F11
    SV(1,4)=-SV(1,1)
    SV(4,4)=SV(1,1)
    SV(2,2)=4.*E*YI/V*F22
    SV(2,3)=-6.*E*YI/V/V*F23
    SV(2,6)=-SV(2,3)
    SV(3,2)=SV(2,3)
    SV(2,5)=2.*E*YI/V*F25
    SV(3,3)=12.*E*YI/(V**3)*F33
    SV(3,6)=-SV(3,3)
    SV(6,6)=SV(3,3)
    SV(3,5)=-6.*E*YI/V/V*F35
    SV(5,6)=-SV(3,5)
    SV(6,5)=SV(5,6)
    SV(5,5)=4.*E*YI/V*F55
    RETURN

```

```

C=====

```

```

C *** MATRIZ DE RIGIDEZ DE VIGA QUALQUER
70  IT=2*NCOR+3*ITVIG+(IT-1)*E
    SV(4,4)=X(IT+1)
    SV(4,5)=X(IT+2)
    SV(4,6)=X(IT+3)
    SV(5,5)=X(IT+4)
    SV(5,6)=X(IT+5)
    SV(6,6)=X(IT+6)
    CALL INVFLX(6,SV,V)
    RETURN
END

```

```

SUBROUTINE ROTRAN (SV)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA EFETUA AS TRANSFORMACOES DA MATRIZ
C *** DE RIGIDEZ DA VIGA PARA O SISTEMA GLOEAL
C *****
C DIMENSION RTI(3,3), RTF(3,3), SV(6,6)
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28(6))
COMMON/DQIS/ ICE, IM, IFOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
*COXA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
*NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPB(5), NOPR(5),
*S(12,12), SR(12,9), PC(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
*NPROB, NVPAC(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
*NCC, NCCA, N, NGE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
*NZERO, ITIT
COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIC, FI,
*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RAIO
C=====
RTI(1,1)=COXA
RTI(1,2)=SENA
RTI(2,1)=-SENA
RTI(2,2)= COXA
RTI(1,3)=0.
RTI(2,3)=0.
RTI(3,1)=-SY*COXA+SX*SENA
RTI(3,2)=-SY*SENA-SX*COXA
RTI(3,3)=1.
RTF(1,1)= COXA
RTF(1,2)= SENA
RTF(2,1)=-SENA
RTF(2,2)= COXA
RTF(1,3)=0.
RTF(2,3)=0.
RTF(3,1)=-EY*COXA-EX*SENA
RTF(3,2)=-EY*SENA+EX*COXA
RTF(3,3)=1.
C=====
C *** MULTIPLICACAO PELA MATRIZ DE ROTACAO E TRANSFERENCIA
DO 101 J=1,6
DO 101 L=1,6
101 S(J,L)=0.
DO 1 J=1,3
DO 2 L=1,3
SR (L,J)=0.
SR (L,J+3)=0.
SR (L+3,J+3)=0.
SR (L+3,J)=0.
DO 3 K=1,3
SR (L,J)=SR (L,J)+SV(L,K)*RTI(K,J)
SR (L,J+3)=SR (L,J+3)+SV(L,K+3)*RTF(K,J)
SR(L+3,J)=SR(L+3,J)+SV(K,L+3)*RTI(K,J)
SR (L+3,J+3)=SR (L+3,J+3)+SV(L+3,K+3)*RTF(K,J)
3
2 CONTINUE
IF (NOI.GT.NOF) GO TO 6
DO 4 L=1,3
DO 5 K=1,3
S (L,J)=S (L,J)+SR (K,J)*RTI(K,L)
S (L,J+3)=S (L,J+3)+SR (K,J+3)*RTI(K,L)
5
4 S (L+3,J+3)=S (L+3,J+3)+SR (K+3,J+3)*RTF(K,L)
GO TO 1
6 DO 7 L=1,3
DO 8 K=1,3
S(L,J)=S(L,J)+SR (K+3,J+3)*RTF(K,L)
S(J,L+3)=S(J,L+3)+SR (K,J+3)*RTI(K,L)
8
7 S(L+3,J+3)=S(L+3,J+3)+SR (K,J)*RTI(K,L)
CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN

```

END

```

SUBROUTINE MARIF
C *****
C *** ESTA SUBROTINA CALCULA A MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM PILAR
C *** E EFETUA AS TRANSFORMACCOES PARA O SISTEMA GLOBAL
C *****
      DIMENSION R(12,9)
C      REAL*8 B
      COMMON/UM/ B(28000)
      COMMON/OIS/ ICE, IM, IFGS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
      *COA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
      *NEX1(40), NEX2(40), KPGS, ITFIL, NAPEL, IPPR(5), NCPR(5),
      *S(12,12), SR(12,9), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
      *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
      *NCC, NCCA, N, NOE, NDA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
      *NZERO, -ITIT
      COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,
      *IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
      *U, T, RAID
C =====
      DO 10 J=1,12
      DO 10 K=1,12
10      S(J,K)=0.
      IF (IDENT.NE.0) GO TO 60
C =====
C *** MATRIZ DE RIGIDEZ DE PILAR SIMPLES
      IT=2*NCOOR+ITVIG*3+(IFLXV+IT-1)*6
      XI=X(IT+1)
      YI=X(IT+2)
      ZI=X(IT+3)
      AZ=X(IT+4)
      AX=X(IT+5)
      AY=X(IT+6)

      FIX=1.
      FIY=1.
      IF(AX.EQ.0.) GO TO 50
      FIX=1.+12.*E*YI/G/AX/V**2.
50      IF(AY.EQ.0.) GO TO 51
      FIY=1.+12.*E*XI/G/AY/V**2.
51      S(1,1)=(FIY+3.)/FIY*E*XI/V
      S(7,7)=S(1,1)
      S(1,7)=S(1,1)*(3.-FIY)/(3.+FIY)
      S(7,1)=S(1,7)
      S(1,5)=S(1,1)*6./(3.+FIY)/V
      S(5,1)=S(1,5)
      S(1,11)=-S(1,5)
      S(11,1)=S(1,11)
      S(5,7)=S(1,5)
      S(7,5)=S(5,7)
      S(7,11)=S(1,11)

```

```

S(11,7)=S(7,11)
S(5,5)=S(1,5)*2./V
S(11,11)=S(5,5)
S(5,11)=-S(5,5)
S(11,5)=S(5,11)
S(2,2)=(FIX+3.)/FIX*E*YI/V
S(8,8)=S(2,2)
S(2,8)=S(2,2)*(3.-FIX)/(3.+FIX)
S(8,2)=S(2,8)
S(2,4)=S(2,2)*6./(3.+FIX)/V
S(4,2)=S(2,4)
S(2,10)=-S(2,4)
S(10,2)=S(2,10)
S(4,8)=S(2,4)
S(8,4)=S(4,8)
S(8,10)=S(2,10)
S(10,8)=S(8,10)
S(4,4)=S(8,10)*2./V
S(10,10)=S(4,4)
S(4,10)=-S(4,4)
S(10,4)=S(4,10)
S(3,3)=E*A2/V
S(3,9)=-S(3,3)
S(9,3)=S(3,9)
S(9,9)=S(3,3)
S(6,6)=G*ZI/V
S(6,12)=-S(6,6)
S(12,6)=S(6,12)
S(12,12)=S(6,6)
GO TO 100

```

C=====

C \*\*\* MONTAGEM DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DE PILAR

60 IT=2\*NCOR+3\*ITVIG+6\*(IFLXV+ITPIL)+(IT-1)\*24

DO 70 J=1,6

DO 70 K=J,6

IT=IT+1

70 S(J,K)=X(IT)

C \*\*\* CALCULO DA MATRIZ DE RIGIDEZ VIA FLEXIBILIDADE

CALL INVFLX (12,S,V)

C=====

C \*\*\* MONTAGEM DA MATRIZ DE ROTACAO

100

R(1,1)=COSA\*COSE\*COSE-SENA\*SENG

R(1,2)=SENA\*COSE\*COSE+COSA\*SENG

R(2,1)=-COSA\*COSE\*SENG+SENA\*COSE

R(2,2)=-SENA\*COSE\*SENG+COSA\*COSE

R(3,3)=COSB

R(4,4)=R(1,1)

R(4,5)=R(1,2)

R(5,4)=R(2,1)

R(5,5)=R(2,2)

R(6,6)=R(3,3)

R(7,7)=R(1,1)

R(7,8)=R(1,2)

R(8,7)=R(2,1)

R(8,8)=R(2,2)

R(9,9)=R(3,3)

R(1,6)=-SENB\*COSE

R(2,6)=SENB\*SENG

R(3,4)=COSA\*SENB

R(3,5)=SENA\*SENB

R(4,3)=R(1,6)

R(5,3)=R(2,6)

R(6,1)=R(3,4)

R(6,2)=R(3,5)

R(10,9)=R(1,6)

R(11,9)=R(2,6)

R(12,7)=R(3,4)

R(12,8)=R(3,5)

C=====

C \*\*\* MONTAGEM DA MATRIZ DE ROTACAO X TRANSFERENCIA

```

R(3,1)=-R(3,3)*EY
R(3,2)= R(3,3)*EX
R(4,1)=-R(4,3)*EY
R(4,2)= R(4,3)*EX
R(5,1)=-R(5,3)*EY
R(5,2)= R(5,3)*EX
R(3,6)=-R(3,4)*TY+R(3,5)*TX
R(4,6)=-R(4,4)*TY+R(4,5)*TX
R(5,6)=-R(5,4)*TY+R(5,5)*TX
R(9,7)=-R(9,9)*SY
R(9,8)= R(9,9)*SX
R(10,7)=-R(10,9)*SY
R(10,8)= R(10,9)*SX
R(11,7)=-R(11,9)*SY
R(11,8)= R(11,9)*SX

```

```

C =====
C *** MULTIPLICACAO = TRANSFORMACAO 'A DIREITA
CALL PROD(S,R,SR,12,12,5,5)
C *** MULTIPLICACAO = TRANSFORMACAO 'A ESQUERDA
CALL PROD(R,SR,S,9,12,9,12)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PROD (A,E,C,LA,KA,KB,KC)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA EFETUA UM PRODUTO MATRICIAL
C *****
DIMENSION A(KA,LA), B(12,5), C(KA,KC)
C *** OS PRODUTOS SAO EFETUADOS POR COLUNA
DO 10 L=1,LA
DO 10 K=1,KB
C(L,K)=0.
DO 10 J=1,KA
C(L,K)=C(L,K)+A(J,L)*E(J,K)
10 RETURN
END

```

```

      SUBROUTINE INVFLX(KN,S,V)
C *****
C *** ESTA SUBROTINA GERA A MATRIZ DE RIGIDEZ A PARTIR
C *** DA MATRIZ DE FLEXIBILIDADE DE VIGA OU PILAR
C *****
      DIMENSION S(NN,NN)
C *** SE NN=6, VIGA *** SE NN=12, PILAR
C *** SE VIGA, INVERTE-SE 3X3 ENTRE LINHAS E COLUNAS 4 E 6
C *** SE PILAR, INVERTE-SE 6X6 ENTRE LINHAS E COLUNAS 1 E 5
      ILI=4
      IF (NN.EQ.12) ILI=1
      DO 50 IL=ILI,6
      P=S(IL,IL)
      S(IL,IL)=1.
      IF (IL.EQ.6) GO TO 30
      DO 20 IK=IL+1,6
      S(IK,IL)=0.
      DO 10 IC=ILI,6
      S(IK,IC)=S(IK,IC)-S(IL,IC)/P*S(IL,IK)
10      CONTINUE
20      DO 40 IC=ILI,6
      S(IL,IC)=S(IL,IC)/P
30      CONTINUE
40      ILI=7
      DO 80 IL=ILI,5
      ILI=ILI-1
      IK1=ILI
      DO 70 IK=IL,5
      IK1=IK-1
      DO 60 IC=ILI,IK1
      S(IK1,IC)=S(IK1,IC)-S(IL1,IC)*S(IK1,IL1)
60      S(IK1,IL1)=S(IL1,IK1)
70      CONTINUE
80      CONTINUE
      IF (NN.EQ.12) GO TO 150
C *** CALCULO DO RESTANTE DA MATRIZ, POR EQUILIBRIO (VIGA)
      DO 100 IL=4,6
      S(1,IL)=-S(4,IL)
100      S(2,IL)=V*S(6,IL)-S(5,IL)
      S(3,IL)=-S(6,IL)
      DO 110 IL=1,3
      S(1,IL)=-S(IL,4)
      S(2,IL)=V*S(IL,6)-S(IL,5)
110      S(3,IL)=-S(IL,6)
      RETURN
150      DO 160 IL=1,6
C *** CALCULO DO RESTANTE DA MATRIZ, POR EQUILIBRIO (PILAR)
      S(7,IL)=V*S(5,IL)-S(1,IL)
      S(IL,7)=S(7,IL)
      S(8,IL)=-V*S(4,IL)-S(2,IL)
      S(IL,8)=S(8,IL)
      S(9,IL)=-S(3,IL)
      S(IL,9)=S(9,IL)
      S(10,IL)=-S(4,IL)
      S(IL,10)=S(10,IL)
      S(11,IL)=-S(5,IL)
      S(IL,11)=S(11,IL)
      S(12,IL)=-S(6,IL)
160      S(IL,12)=S(12,IL)
      DO 170 IL=7,12
      S(7,IL)=V*S(5,IL)-S(1,IL)
      S(8,IL)=-V*S(4,IL)-S(2,IL)
      S(9,IL)=-S(3,IL)
      S(10,IL)=-S(4,IL)
      S(11,IL)=-S(5,IL)
170      S(12,IL)=-S(6,IL)
      END

```

```

SUBROUTINE RESEQ
C *****
C *** ESTA SUBROTINA RESOLVE O SISTEMA DE EQUACOES
C *****
C REAL*8 B
COMMON/UM/ B(28(60))
COMMON/DOIS/ ICE, IM, IPOS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
*QSA, QSB, QSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
*NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPI, NAEL, IPPR(5), NCPR(5),
*S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXF,
*NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
*NCC, NCCA, N, NOE, NOA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
*NZERO, ITIT
COMMON/TRES/ E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIC, FI,
*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RATIO
C ABS(XY)=DABS(XY)
C =====
C ===== RESOLUCAO DO SISTEMA DE EQUACOES =====
C =====
DO 200 N=1,NA
J=NA+1-N
NDA=(NNA(J)+1)*3
NOB=NDA+NNA(J+1)*3
LTA=(NOB-LF(J)+1)*(NOB-LF(J))/2
IF (N.EQ.1) GO TO 330
C=====
C *** GRAVACAO DOS DESLOCAMENTOS DO ANDAR ANTERIOR (J+1)
WRITE(9) (B(IG),IG=1,IE)
C=====
C ===== TRANSFERENCIA DO VETOR DE CARGA DO INICIO DO =====
C ===== INICIO DO BLOCO PARA A SUA POSICAO EXATA =====
IG=(NOB+2*NCC+1)*NOE/2-LTA
IB=(NOB-NDA)*NCC
DO 120 IL=1,NOB-NDA
DO 130 NCCA=1,NCC
B(IG)=B(IE)
IG=IG-1
130 IB=IB-1
120 IG=IG-1L
IB=(2*NOB+2*NCC-NDA+1)*NDA/2+1-LTA
C=====
C ===== LEITURA DE UM BLOCO DA MATRIZ DE RIGIDEZ =====
BACKSPACE(7)
READ(7) (B(IC),IC=1,IB-1)
BACKSPACE(7)
330 IA=(NOB+2*NCC+1)*NOE/2-LTA
IF (N.EQ.1) IB=IA-NCC
C=====
C *** TESTE DO INDICE DE ESPARSIDADE
DO 3333 NTESP=1,IB-1
IF (ABS(B(NTESP)).LE.1.E-10) NZERO=NZERO+1
3333 NTOT=NTOT+1
C=====
C ===== CALCULO DOS ULTIMOS DESLOCAMENTOS (ULTIMA EQUACAO) =====
C =====
IF (N.NE.1) GO TO 410
DO 400 IE=1,NCC
B(IA)=B(IA)/B(IB)
400 IA=IA-1
IA=IA+NCC
C=====
C ===== CALCULO DOS DESLOCAMENTOS RELATIVOS AO ANDAR =====
410 K=NOB-NDA+1
IF (N.EQ.1) K=2
IH=K-1
DO 50 IL=K,NOB
IC=IB-NCC
IH=IH+1-IH/LF(J)
ID=IA
IA=IA-(IL-IH+NCC+1)*(IH/LF(J))

```



```

      IG=(IL-1H)*(1H/LF(J))
      DO 30 IE=2,1H
      IF=IB
      IC=IC-1
      IG=IG+1-IG/LF(J)
      DO 20 NCCA=1,NCC
      IF=IF-1
      B(IF)=B(IF)-B(ID)*E(IC)
20      ID=ID-1
30      IO=ID-IG
      IF=IB
      IS=IC-1
      DO 40 NCCA=1,NCC
      IF=IF-1
      B(IF)=B(IF)/B(IS)
40      CONTINUE
50      C=====
C ===== TRANSFERENCIA DO VETOR DE CARGA PARA O INICIO =====
      IG=LF(J)
      IB=0
      K=NOA
      IF (N.EQ.1) K=NOE
      DO 100 IL=1,K
      DO 110 NCCA=1,NCC
      IB=IB+1
      IG=IG+1
110      B(IB)=B(IG)
      IG=IG+LF(J)
      IF (IL.GT.NOE-LF(J)) IG=IG+NOE-IL-LF(J)
100      CONTINUE
200      CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE FORCA
C *****
C *** ESTA SUBROTINA CALCULA ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES
C *** DOS ELEMENTOS E IMPRIME RESULTADOS GERAIS
C *****
      DIMENSION SV(6,6)
      DOUBLE PRECISION DSL(5)
      REAL*8 B
      COMMON/UM/ B(28000)
      COMMON/COIS/ ICE, IM, IFCS, NA, NOI, NOF, AY, AZ, ZI,
      *COSA, COSB, COSG, SENA, SENB, SENG, SX, SY, EX, EY, TX, TY,
      *NEX1(40), NEX2(40), KPOS, ITPIL, NAPEL, IPPR(5), NDPR(5),
      *S(12,12), SR(12,5), PD(61,4), NNA(61), IFLXV, IFLXP,
      *NPROB, NVPA(380), NVP(1600), PESP, AML(12), LF(60),
      *NCC, NCCA, N, NOE, NOA, TOL, IREGV(60), IREGP(60), NTOT,
      *NZERG, ITIT
      COMMON/TRES/E, G, AX, XI, YI, V, NCOOR, ITVIG, FI,

```

```

*IT, IDENT, X(1600), HMA, HME, BL, ALA, ALB, SF, CF,
*U, T, RAIO
COMMON/QUATRO/ CHAVE, D(65), NI, NF, KT(9), DIGIT(13),
*ITABA(4,6), KPAR
COMMON/CINCO/ PALAV(13), ITAB(13,19), IFICA(4), IFLAG(6,2)
C=====
C *** POSICOES DOS DESLOCAMENTOS ACUMULADOS DE ANDAR
      IA=NNA(1)*3*NCC+1
      IB=IA+3*NCC-1
      ID=NA+1
      DO 4005 N=1,NA+1
4005      ID=ID+NNA(N)
      ID=ID*3*NCC
      IC=ID-3*NCC+1
      DO 4010 K=IC, ID
          B(K)=B(IA)
4010      IA=IA+1
C=====
C *** LEITURA DOS DESLOC. E ACUMULACAO DOS DESLOC. DE ANDAR
      IF (NA.EQ.1) GO TO 4016
      DO 4020 N=2,NA
          IB=IB+NNA(N)+1)*3*NCC
          IF (N.EQ.NA) IE=IB+NNA(NA+1)*3*NCC
          BACKSPACE (9)
          READ (9) (B(K),K=IA,IB)
          BACKSPACE (9)
          IA=IA+NNA(N)*3*NCC
          DO 4015 K=IC, ID
              B(K)=B(K)+B(IA)
4015      IA=IA+1
4020      CONTINUE
C=====
C *** IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS DOS NOS POR ANDAR
4016      DO 4900 NCCA=1,NCC
          K=ID+1
          L=ID+NNA(NA+1)*6
          DO 4021 J=K,L
4021      B(J)=0.
          READ (ITIT,NCCA+1,156) (D(J),J=1,15)
156      FORMAT(15A4)
          WRITE(IM,9200) NCCA, (D(J),J=1,15)
9200      FORMAT('1',20X,80(' ')/21X,'-',78X,'-',/21X,'-',9X,
C'C A R R E G A M E N T O      N U M E R O',15,25X,'-',/
C'21X,'-',9X,15A4,5X,'-',/21X,'-',78X,'-',/21X,80(' ')/)
          CALL NUMINT
          IA=NCCA
          DO 4030 N=1,NA
              WRITE(IM,9210) N
9210      FORMAT(/21X,'DESLOCAMENTOS DOS NOS DO ANDAR',
*15/,' NO',11X,'ROTACAO X',11X,'ROTACAO Y',8X,
*1TRANSLACAO Z'/)
              CALL NUMINT
              DO 4025 NIN=1,NNA(N)
                  IB=IA+2*NCC
                  WRITE(IM,9700) NEX1(NIN),(B(K),K=IA,IE,NCC)
9700      FORMAT(' ',15,3F20.8)
4025      IA=IB+NCC
4030      IA=IA+3*NCC
C=====
C *** IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS DOS APOIOS
          WRITE(IM,9215)
9215      FORMAT(/21X,'DESLOCAMENTOS DOS APOIOS',
*15/,' NO',11X,'ROTACAO X',11X,'ROTACAO Y',8X,
*1TRANSLACAO Z'/)
          DO 4035 NIN=1,NNA(NA+1)
              IB=IA+2*NCC
              WRITE(IM,9700) NEX2(NIN),(B(K),K=IA,IB,NCC)
4035      IA=IB+NCC
C=====

```

C \*\*\* IMPRESSAO DOS DESLOCAMENTOS ACUMULADOS DE ANDAR

IA=NCCA

WRITE(IM,9220)

9220 FORMAT(//21X,'DESLOCAMENTOS DOS ANDARES',//  
 \*'ANDAR',8X,'TRANSLACAO X',8X,'TRANSLACAO Y',11X,  
 \*'ROTACAO Z'//)

DO 4045 N=1,NA

IA=IA+NCC\*3\*NNA(N)

WRITE(IM,9700) N,(B(K),K=IC,ID,NCC)

DO 4040 K=IC,ID,NCC

B(K)=B(K)-B(IA)

IA=IA+NCC

4040

4045

CONTINUE

IC=IC+1

C=====

C \*\*\* CALCULO DOS ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES DOS ELEMENTOS

WRITE(IM,9230)

9230 FORMAT(//11X,'ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES DOS  
 \*ELEMENTOS'//)

IA=NCCA

MCV=0

MCP=0

N=0

CALL NUMINT

DO 4100 N=1,NA

CALL NUMINT

MCVL=MCV

MCPL=MCP

IPF=-3

I=0

WRITE(IM,9240) N

9240 FORMAT(//21X,'A N D A R N U M E R O',15)

C=====

C \*\*\* CALCULO DOS E. E. DAS VIGAS

DO 4067 NANC=1,N

IVI=IPF+4

IVF=NVPA(2\*NAND-1)

IPF=NVPA(2\*NAND)

IF (IVI.GT.IVF) GO TO 4067

DO 4066 K=IVI,IVF,4

J=NVP(K+1)/1000000

IF ((J.EQ.C).OR.(J.GE.N)) GO TO 4050

IF (J.GT.IRECV(N)) MCVL=MCVL+1

GO TO 4066

4050

MCVL=MCVL+1

IF (I.EQ.C) WRITE(IM,9250)

I=MCVL

NI=NVP(K+1)/1000

NF=NVP(K+1)-NI\*1000

NI=NI-J\*1000

READ(10,'I')((SR(J,L),J=1,6),L=1,6),V,SX,EX

9250 FORMAT(//11X,'EXTREMIDADE INICIAL',10X,'EXTREMIDADE

\*FINAL',8X,'VIGA MX',8X,'MY',8X,'FZ',8X,'MX',8X,

\*MY',8X,'FZ'//)

DO 4052 NIN=1,NNA(N)

IF (NI.EQ.NEX1(NIN)) NOI=NIN

4052

IF (NF.EQ.NEX1(NIN)) NOF=NIN

DO 4055 J=1,6

4055

AML(J)=C.

ZI=NVP(K)

IDENT=NVP(K+2)/1000

IT=NVP(K+2)-IDENT\*1000

IF (IDENT.EQ.3) GO TO 4059

KPOS=NVP(K+3)/10

NPOS=NVP(K+3)-KPOS\*10

FI=X(KPOS+4)

IT=2\*NCOOR+(IT-1)\*3

XI=X(IT+1)

YI=X(IT+2)

AX=X(IT+3)

```

IF (IDENT.EG.1) GO TO 3041
FI=1.
IF (AX.GT.TOL) FI=1.*12.*E*YI/V/V/AX/G*1.2
IF (IDENT.EG.0) GO TO 4059
KPOS=KPOS+NPOS
HMA=X(KPOS)
BL=X(KPOS+2)
ALA=X(KPOS+3)
ALB=X(KPOS+4)
GO TO 4059
3041 CALL MARIV (SV)
4059 CALL CARGA(SV)
IB=IA+3*NCC*(NOI-1)
DSL(1)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(2)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(3)=B(IE)
IB=IA+3*NCC*(NOF-1)
DSL(4)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(5)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(6)=B(IE)
DO 4065 J=1,6
DO 4066 L=1,6
4066 AML(J)=AML(J)+SR(J,L)*DSL(L)
4065 CONTINUE
WRITE(IM,9705) NVP(K),(AML(J),J=1,6)
4066 CONTINUE
4067 CONTINUE
9705 FORMAT(' ',A3,12F10.3)
I=0
C=====
C *** CALCULO DOS E. E. DOS PILARES
DB-4095 NANC=1,N
IPI=NVPA(2*NAND-1)+4
IPF=NVPA(2*NAND)
IF (IPI.GT.IPF) GO TO 4095
DO 4090 K=IPI,IPF,4
J=NVP(K+1)/1000000
IF ((J.EQ.0).OR.(J.GE.N)) GO TO 4075
IF (J.GT.IREGP(N)) MCPL=MCPL+1
GO TO 4090
4075 MCPL=MCPL+1
IF (I.EQ.0) WRITE(IM,9260)
I=MCPL
NI=NVP(K+1)/1000
NF=NVP(K+1)-NI*1000
NI=NI-J*1000
READ(11,1)((SR(J,L),J=1,9),L=1,9),COSA,COSB,CQSG,
* SENA,SENB,SENG,SY,SY,AZ,V
9260 FORMAT(//11X,'E X T R E M I D A D E',13X,'S U F E R I',
*'O R',11X,'E X T R E M I D A D E',13X,'I N F E R I G R',
*'PILAR',12('MX',8X,'MY',8X,'FZ',8X,'FX',8X,
*'FY',8X,'MZ',8X)/)
DO 4076 NIN=1,NNA(N)
4076 IF (NI.EQ.NEX1(NIN)) NOI=NIN
DO 4078 NIN=1,NNA(N+1)
4078 IF (NF.EQ.NEX2(NIN)) NOF=NNA(N)+1+NIN
IB=IA+3*NCC*(NOI-1)
DSL(1)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(2)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(3)=B(IE)
IB=IA+3*NCC*NNA(N)
DSL(4)=B(IE)
IB=IB+NCC
DSL(5)=B(IE)

```

```

      IB=IB+NCC
      DSL(6)=B(IE)
      IB=IA+3*NCC*(NOF-1)
      DSL(7)=B(IE)
      IB=IB+NCC
      DSL(8)=B(IE)
      IB=IB+NCC
      DSL(9)=B(IE)
      DO 4080 J=1,9
        AML(J)=G.
      DO 4080 L=1,9
4080  AML(J)=AML(J)+SR(J,L)*DSL(L)
      AML(10)=-AML(4)
      AML(11)=-AML(5)
      AML(12)=-AML(6)
      IF (IPPR(NCCA).EQ.0) GO TO 4085
      AZ=PESP*V*AZ/2.
      AML(3)=AML(3)+AZ*COSE
      AML(9)=AML(9)+AZ*COSE
      AML(4)=AML(4)-AZ*SENE*COSE
      AML(10)=AML(10)-AZ*SENB*COSE
      AML(5)=AML(5)+AZ*SENB*SENG
      AML(11)=AML(11)+AZ*SENB*SENG
4085  WRITE(IM,9705) NVP(K), AML
      IF(N.NE.NA) GO TO 4090
      S(1,1)=COSE*COSE*COSE*SENA*SENG
      S(2,1)=SENA*COSE*COSE*COSE*SENG
      S(1,2)=-COSE*COSE*SENG*SENA*COSE
      S(2,2)=-SENA*COSE*SENG*COSE*COSE
      S(3,3)=COSE
      S(3,1)=-SENB*COSE
      S(3,2)=SENB*SENG
      S(1,3)=COSE*SENB
      S(2,3)=SENA*SENB
      DO 4082 J=1,3
4082  AML(J)=S(J,1)*AML(10)+S(J,2)*AML(11)+S(J,3)*AML(9)
      AML(J+3)=S(J,1)*AML(7)+S(J,2)*AML(8)+S(J,3)*AML(12)
      AML(4)=AML(4)-AML(3)*SY
      AML(5)=AML(5)+AML(3)*SX
      AML(6)=AML(6)+AML(1)*SY-AML(2)*SX
      J=ID+(NOF-NNA(NA)-2)*E
      DO 4083 L=1,6
      J=J+1
4083  B(J)=B(J)+AML(L)
4090  CONTINUE
4095  CONTINUE
      IF (IREGV(N+1).NE.IREGV(N)) MCV=MCVL
      IF (IREGP(N+1).NE.IREGP(N)) MCP=MCPL
4100  IA=IA+3*NCC*(NNA(N)+1)
      WRITE(IM,9270)
C=====
C *** IMPRESSAO DAS REACOES DE APOIO
9270  FORMAT(///21X,'REACOES DE APOIO'//
  *21X,'NO' FORCA X ,
  *FORCA Y FORCA Z MOM. X MOM. Y MOM. Z'//)
      L=ID
      DO 4150 NIN=1,NNA(N+1)
      K=L+1
      L=L+6
4150  WRITE(IM,9280) NEX2(NIN),(E(J),J=K,L)
9280  FORMAT(21X,I3,6F10.3)
4900  CONTINUE
      GESPR=100.*NZERO/NTOT
      WRITE(IM,9990) GESPR
9990  FORMAT(///// '***** INDICE DE ESPARSIDADE ='F5.2,
  *' POR CENTO *****')
      RETURN
      END

```

A P Ê N D I C E      D

REFERÊNCIAS      BIBLIOGRÁFICAS

## D - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WEAVER, W.; NELSON, M. F. - "Three Dimensional Analysis of Tier Buildings". Journal of the Structural Division, ASCE, vol 92, nº ST-6, Proc. Paper 5019, 1966.
2. McCORMICK, J. M. - "Programming for Effective Interchange". Structural Mechanics Computer Programs.
3. FONTE, A. O. Cavalcante - "Análise Tridimensional de Estruturas de Edifício". Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1972.
4. FIGUEIROA, J. P. - "Análise de Grelhas com Elementos de Eixo Curvo e Seção Variável. Aplicação ao Cálculo de Linhas de Influência em Vigas Curvas". Tese M.Sc., ... COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1972.
5. SORIANO, H. Lima - "Cálculo Automático do Efeito de Vento em Estruturas de Edifícios". Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1971.
6. GERE, J. M.; WEAVER, W. - "Analysis of Framed Structures". Princenton, N.J. D. Van Nostrand Company, Inc. 1965.
7. CLOUGH, R. W.; KING, I. P. - "Analysis of Three-Dimensional Buildings Frames". International Association for Bridge and Structural Engineers, vol 24, 1964.
8. PRZEMIENIECKI, J. S. - "Theory of Matrix Structural Analysis". N.Y., Mc.Graw-Hill Book Co., Inc. 1968.
9. CLOUGH, R. W.; WILSON, E. L.; KING, I. P. - "Structural Analysis of Multistory Buildings". Journal of the Structural Division, ASCE, vol 90, Nº ST-3, Proc. Paper 3925, 1964.

10. SORIANO, H. Lima; GOMES, E. A. de Oliveira - "Enfoque Tridimensional de Estruturas de Edifício". Conferência Regional Sul Americana Sobre Edifícios Altos. Porto Alegre, 1973.
11. WEAVER, W. - "Computer Programs for Structural Analysis". USA, D. Van Nostrand Co., Inc. 1967
12. GERE, J. M.; WEAVER, W. - "Matrix Algebra for Engineers" USA, Van Nostrand Reinhold Company, 1965.
13. CAMARA Jr., V. F.; SORIANO, H. Lima - "ATEEL - Um Sistema Para a Análise Tridimensional de Esforços em Estruturas de Edifícios Elevados". Simpósio Sobre Sistemas Computacionais Para Engenharia Civil, COPPE, Rio de Janeiro, 1977.
14. ROARK, R. J. - "Formulas for Stress and Strain", Tokyo, Kogabusha Company Ltd., 1965.
15. CLOUGH, R. W.; WILSON, E. L.; KING, I. P. - "Large Multistory Frame Analysis Programs". Journal of the Structural Division, ASCE, vol 89, nº ST-4, Proc. Paper 3592 1963.
16. WAKABAYASHI, M; YAGUI, T. - "Núcleos Resistentes de Edifícios Elevados". Conferência Regional Sul Americana Sobre Edifícios Altos. Porto Alegre, 1973.
17. SORIANO, H. L. - "Formulação dos Métodos de Gauss e Cholesky Para a Análise Matricial de Estruturas". Publ. Téc. nº 11.72, COPPE, Rio de Janeiro, 1972.
18. SORIANO, H. L.; COSTA, A. M. - "Sugestões Quanto ao Desenvolvimento de Programações Para Análise Estrutural em FORTRAN IV". A ser publicado na COPPE/UFRJ.



19. MENEZES, N. C. - "Dimensionamento Automático de Estruturas de Edifícios em Concreto Armado". Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, 1977.
20. STAMATO, M. C. - "Estado Atual da Análise de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Altos". Publ. nº 163 - Esc. de Eng. de São Carlos - 1972.
21. STAMATO, M. C.; STAFFORD-SMITH, B. - "Análise Aproximada de Estruturas Tridimensionais de Edifícios Elevados". XIII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural - Montevideo, 1969.
22. STAMATO, M. C.; STAFFORD-SMITH, B. - "An Approximate Method for the Three Dimensional Analysis of Tall Buildings". Proc. Inst. Civil Engineers, Londres, 1969.
23. WRIGHT, E. W. - "Structural Design by Computer". Van Nostrand Reinhold Company Ltd., London, 1976.
24. HEHL, M. E. - "Sistema de Programação Fortran IV G-H". McGraw Hill do Brasil Ltda., 1972.
25. "A Linguagem LORANE Linear Para Análise Estrutural por Computadores". Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, 1977.
26. ICES STRUDL II - "The Structural Design Language Engineering User's Manual, vol 1 e 2. 1969.
27. PACITTI, T.; ATKINSON, C. P. - "Programação e Métodos Computacionais", vol 1 e 2. Livros Técnicos e Científicos Editora. 1976.
28. Manual de FORTRAN Burroughs.
29. Manual de FORTRAN IBM.

A P Ê N D I C E      E

EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA "ATEEL"

(Ver figura VII-5)

WORK FLOW STATEMENTS FOR JOB 949A

?JOB FINALSIM;NAME="VILAR-179";CLASS=SI;PROCESSTIME=600;  
 ICTIME=900;PRINTIL;IT=2100;BEGIN  
 ?FROM ATEEL/050;FILE FILES(KIND=PACK,TITLE=ATEEL/FINALSIM/10)  
 ?END JOB

00000100  
 00000200  
 00000300  
 00000400

J O B S U M M A R Y

***** RESUMO DA CONTA *****				
*****				
TOTALS	DO	PROGRAMA		ACUMULADO
*****				
* TEMPO DE PROCESSADOR	1	0104135 CRS	97,00	12121155 CRS 15737,37
* TEMPO DE E/S	1	0101105 CRS	10,75	5100152 CRS 4115,79
* CARTOES LIPOS	1	0 CRS	0,00	70271 CRS 147,57
* LINHAS IMPRESSAS	1	1040 CRS	9,20	435718 CRS 3430,32
* INTEGRAL DE MEMORIA (KAD.SEG)	1	5660 CRS	44,18	999478 CRS 8073,16
*****				
* TERMINACOES NORMAIS	1	1		1076
* TERMINACOES ANORMAIS	1	0		427
* NUMERO DE PROGRAMAS	1			626
*****				
* USO DE TERMINAIS	1			
* NUMERO DE LOGGINS	1			310
* TEMPO DE PROCESSADOR	1	0100100 CRS	0,00	1136114 CRS 2042,24
* TEMPO DE E/S	1	0100100 CRS	0,00	1112131 CRS 992,04
*****				

ESTR                      TESTE FINAL \* 10 ANDARES C/SIMETRIA \* TESE / M.SC.  
 CONST                    3000000    1250000    2.4  
 COORD                    -9            12.5            -3            12.5            12.5  
                           9            12.5            -15            7.5            -9            7.5  
                           -3            7.5            7.5            0            7.5  
                           15            7.5            -15            2.5            -3            2.5  
                           -3            2.5            15            2.5            -15            -2.5  
                           -15            -2.5            -9            -2.5            15            -2.5  
                           -7.5            -7.5            -9            -7.5            -3            -7.5  
                           -7.5            19            -7.5            15            -7.5  
                           -9            -12.5            -3            -12.5            15            -12.5  
                           9            -12.5            -8.59            8.59

C\*\*\* DEFINICAO DAS VIGAS: 20x80, 25x60 E 15x50

VIGA                    1            0.00054    0.00053    .16  
                           2            0.00069    0.0005    .15  
                           3            0.00136    0.00156    .075

C\*\*\* DEFINICAO DOS PILARES: 30x30, 40x40, ETC, 80x80 E ELEVADOR

PILAR                    1            0.00075    0.00075    0.000343    0.09    0.075    .075  
                           2            0.00213    0.00213    0.00188    0.16    0.133    .133  
                           3            0.00521    0.00521    0.00264    0.25    0.208    .208  
                           4            0.0108    0.0108    0.00548    0.36    0.3    .3  
                           5            0.02    0.02    0.0102    0.49    0.408    .408  
                           6            0.0341    0.0341    0.0578    0.64    0.533    .533  
                           7            0.846    0.6233    0.02    1.76

C\*\*\* PILAR FICTICIO PARA EFEITO DE SIMETRIA

8                    10000

ANDAR                    1            3.15

APFL                    1            30            1            30

C\*\*\* VIGAS NA DIRECAO X

VIGA                    1A 1 2 1  
                           1B 2 3 1  
                           2A 5 6 1  
                           2B 6 7 2  
                           2C 7 8 2  
                           3A 11 29 2            .41            2.5  
                           3B 29 12 3            1.49            2.5  
                           3C 12 13 2  
                           4A 15 29 2            .41            2.5  
                           4B 29 16 3            1.49            2.5  
                           4C 16 17 2  
                           5A 19 20 1  
                           5B 20 21 2  
                           5C 21 22 2  
                           6A 25 26 1  
                           6B 26 27 1

C\*\*\* VIGAS NA DIRECAO Y

7A 19 15 1  
                           7B 15 11 1  
                           7C 11 5 1  
                           8A 25 20 1  
                           8B 20 29 2            2.00            .41  
                           8C 29 6 2            2.00            .41

	90	2	1	1
	9A	26	21	2
	9B	21	16	2
	9C	16	12	2
	9D	12	7	2
	9E	7	2	2
PILAR	P1	1		1
	P2	2		1
	P5	5		1
	P6	6		1
	P7	7		1
	P11	11		1
	P12	12		1
	P15	15		1
	P16	16		1
	P19	19		1
	P20	20		1
	P21	21		1
	P25	25		1
	P26	26		1
	C=A	29		7
	L=1	3		8
	L=2	6		8
	L=3	13		8
	L=4	17		8
	L=5	22		8
	L=6	27		8
ANDAR		10		
PILAR	L=1			
	L=2			
	L=3			
	L=4			
	L=5			
	L=6			
CARGA		1	PPR	PESO PROPRIO + CARGA LATERAL Y
ANDAR		1		4
EXEC				

\*\*\*\*\* NENHUM ERRO ENCONTRADO DURANTE A LEITURA DOS CARTOES \*\*\*\*\*

PROBLEMA NUMERO 1  
TESTE FINAL - 10 ANDARES C/SIMETRIA - TESE / M.SC.

ANDAR NUMERO 1 - PE DIREITO = 3,15

VIGA NO. I NO. F SEÇÃO

1A	1	2	1
1B	2	3	1
2A	5	6	1
2B	6	7	2
2C	7	8	2
3A	11	29	2
3B	29	12	3
3C	12	13	2
4A	15	29	2
4B	29	16	3
4C	16	17	2
5A	19	29	1
5B	20	21	2
5C	21	22	2
6A	25	20	1
6B	26	27	1
7A	19	15	1
7B	15	11	1
7C	11	5	1
8A	25	20	1
8B	20	29	2
8C	29	6	2
9A	6	1	1
9B	26	21	2
9C	21	16	2
9D	16	12	2
9E	12	7	2
9F	7	2	2

PILAR NO. I NO. F SEÇÃO

P1	1	1	1
P2	2	2	1
P5	5	5	1
P6	6	6	1
P7	7	7	1
P11	11	11	1
P12	12	12	1

P15	15	15	1
P16	16	16	1
P19	19	19	1
P20	20	20	1
P21	21	21	1
P25	25	25	1
P26	26	26	1
C-4	29	29	7
L-1	3	3	8
L-2	8	8	8
L-3	13	13	8
L-4	17	17	8
L-5	22	22	8
L-6	27	27	8

ANDAR NUMERO 2 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 3 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 4 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 5 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 6 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 7 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 8 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 9 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

ANDAR NUMERO 10 \* PEI DIREITO = 3,15  
 AS VIGAS DESTES ANDAR SAO IDENTICAS AS DO ANDAR ANTERIOR  
 OS PILARES DESTES ANDAR SAO IGUAIS AOS DO ANDAR ANTERIOR

CARREGAMENTO NUMERO 1  
PESO PROPRIO + CARGA LATERAL Y

NO1	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NO1S ROTACAO Y	DO ANDAR 1 TRANSLACAO Z
1	0.00010897	0.00014529	-0.00212948
2	0.00005699	0.00002928	-0.00262043
3	0.00005699	0.00000000	-0.00272535
5	0.00004099	0.00013861	-0.00188679
6	-0.00004789	0.00005029	-0.00237980
7	-0.00000367	0.00003366	-0.00272385
8	-0.00006367	0.00000000	-0.00287431
11	-0.00001259	-0.00006358	-0.00208312
29	-0.00017426	-0.00000084	-0.00071374
12	-0.00009495	0.00021110	-0.00226451
13	-0.00009495	0.00000000	-0.00268153
15	-0.00005016	-0.00019557	-0.00189388
16	-0.00001115	0.00030360	-0.00212746
17	-0.00001115	0.00000000	-0.00268233
19	-0.00013731	0.00010466	-0.00151490
20	0.00019947	0.00006488	-0.00167105
21	0.00003147	0.00008192	-0.00261369
22	0.00003147	0.00000000	-0.00283634
25	-0.00014758	0.00014560	-0.00185174
26	-0.00016926	0.00002978	-0.00234481
27	-0.00016926	0.00000000	-0.00245089

NO1	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NO1S ROTACAO Y	DO ANDAR 2 TRANSLACAO Z
1	0.00000152	0.00011737	-0.00269540
2	0.00000660	0.00003170	-0.00257682
3	0.00000660	0.00000000	-0.00268538
5	0.00000872	0.00011121	-0.00185862
6	-0.00009185	0.00004790	-0.00234080
7	-0.00006725	0.00002559	-0.00267671
8	-0.00006725	0.00000000	-0.00281507
11	-0.00001581	-0.00004284	-0.00196471
29	-0.00017595	-0.00000013	-0.00070372
12	-0.00010662	0.00015092	-0.00222764
13	-0.00010662	0.00000000	-0.00255401
15	-0.00005829	-0.00014115	-0.00186280
16	-0.00000667	0.00021966	-0.00219235
17	-0.00000667	0.00000000	-0.00252221
19	-0.00013910	0.00008679	-0.00148062
20	0.00015516	0.00008174	-0.00164260
21	0.00003376	0.00006353	-0.00256918
22	0.00003376	0.00000000	-0.00276890
25	-0.00013615	0.00011780	-0.00181964
26	-0.00016148	0.00003217	-0.00230465
27	-0.00016148	0.00000000	-0.00241331

NO1	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NO1S ROTACAO Y	DO ANDAR 3 TRANSLACAO Z
1	0.00006591	0.00011682	-0.00261968
2	0.00003334	0.00002961	-0.00288457
3	0.00003334	0.00000000	-0.00295000
5	0.00000522	0.00011126	-0.00170303



6	-0.00005714	0.00004724	-0.000226243
7	-0.00006716	0.00002091	-0.000258168
8	-0.00006706	0.00000600	-0.000271882
11	-0.00001993	-0.00003743	-0.000190065
29	-0.00017869	-0.00003033	-0.000667944
12	-0.00009776	0.00015024	-0.000215015
13	-0.00009776	0.00000000	-0.000247588
15	-0.00005656	-0.00014126	-0.00179810
16	0.00000531	0.00022779	-0.000201885
17	0.00000531	0.00003000	-0.000245300
19	-0.00013771	0.00002736	-0.000142606
20	0.00015369	0.00005880	-0.00178162
21	0.00000362	0.00006225	-0.000247875
22	0.00000362	0.00000000	-0.000267252
25	-0.00013532	0.00011723	-0.00175255
26	-0.00016203	0.00003007	-0.000222039
27	-0.00016203	0.00000000	-0.000232651

NO	DESLOCAMENTOS ROTACAO Y	DOS ROTACAO Y	NOIS ROTACAO Y	DO ROTACAO Y	ANDAR TRANSLACAO Z
1	0.00005704	0.00011336			-0.00190275
2	0.00000101	0.00002749			-0.000234369
3	0.00000101	0.00003000			-0.000248594
5	0.00000766	0.00010911			-0.00169198
6	-0.00001928	0.00004393			-0.000210222
7	-0.00000514	0.00002282			-0.000243614
8	-0.00000514	0.00000000			-0.000257074
11	-0.00001958	-0.00002782			-0.00179550
29	-0.00012056	-0.00000029			-0.000664106
12	-0.00009448	0.00014156			-0.000203161
13	-0.00009448	0.00000000			-0.000230433
15	-0.00000530	-0.00013353			-0.00169901
16	0.00000255	0.00021546			-0.00190674
17	0.00000255	0.00000000			-0.000233030
19	-0.00013516	0.00000636			-0.00134735
20	0.00014809	0.00005507			-0.00168780
21	0.00000171	0.00005834			-0.000234184
22	0.00000171	0.00000000			-0.000252932
25	-0.00013554	0.00011367			-0.00165066
26	-0.00016726	0.00002787			-0.000209362
27	-0.00016726	0.00000000			-0.000219664

NO	DESLOCAMENTOS ROTACAO Y	DOS ROTACAO Y	NOIS ROTACAO Y	DO ROTACAO Y	ANDAR TRANSLACAO Z
1	0.00005313	0.00016393			-0.00174567
2	-0.00000019	0.00002458			-0.000215412
3	-0.00000019	0.00000000			-0.000225200
5	0.00000699	0.00016634			-0.00155494
6	-0.00000696	0.00003969			-0.00147997
7	-0.00000226	0.00002024			-0.000224168
8	-0.00000228	0.00000000			-0.000237202
11	-0.00001744	-0.00001623			-0.00165388
29	-0.00017971	-0.00000032			-0.00058875
12	-0.00002942	0.00013138			-0.00187156
13	-0.00002942	0.00000000			-0.000210900
15	-0.00005094	-0.00012260			-0.00156633
16	-0.00000043	0.00020579			-0.00175578
17	-0.00000043	0.00000000			-0.000210404
19	-0.00013688	0.00000534			-0.00123362
20	0.00013999	0.00000496			-0.00156085
21	-0.00000015	0.00005331			-0.000215662
22	-0.00000015	0.00000000			-0.000233696
25	-0.00013748	0.00010908			-0.00151427
26	-0.00015647	0.00002005			-0.000190210

NOI	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ANDAR 6 TRANSLACAO Z
1	0.00004922	0.00010329	-0.00154731
2	-0.00000009	0.00002090	-0.00191582
3	-0.00000009	0.00000000	-0.00200818
5	0.00000723	0.00010254	-0.00138265
6	-0.00005483	0.00003433	-0.00177354
7	-0.00005487	0.00001725	-0.00199715
8	-0.00005487	0.00000000	-0.00212341
11	-0.00001897	-0.00000396	-0.00147524
29	-0.00017423	-0.00000033	-0.00052273
12	-0.00008220	0.00011950	-0.00168937
13	-0.00008220	0.00000000	-0.00194835
15	-0.00004624	-0.00010731	-0.00139525
16	-0.00000327	0.00012249	-0.00156562
17	-0.00000327	0.00000000	-0.00195473
19	-0.00012429	0.00008310	-0.00119291
20	0.00012885	0.00004435	-0.00139471
21	-0.00000173	0.00004707	-0.00142362
22	-0.00000173	0.00000000	-0.00209469
25	-0.00013429	0.00010326	-0.00134377
26	-0.00015030	0.00002104	-0.00171297
27	-0.00015030	0.00000000	-0.00180464

NOI	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ANDAR 7 TRANSLACAO Z
1	0.00004544	0.00009632	-0.00131035
2	0.00000291	0.00001634	-0.00162485
3	0.00000291	0.00000000	-0.00171440
5	0.00000471	0.00009736	-0.00117362
6	-0.00004731	0.00002774	-0.00152892
7	-0.00005229	0.00001406	-0.00170203
8	-0.00005229	0.00000000	-0.00162344
11	-0.00001774	0.00001115	-0.00125495
29	-0.00016210	-0.00000035	-0.00044331
12	-0.00007241	0.00012635	-0.00142433
13	-0.00007241	0.00000000	-0.00158422
15	-0.00003491	-0.00008590	-0.00119492
16	-0.00000559	0.00017508	-0.00133573
17	-0.00000559	0.00000000	-0.00169872
19	-0.00011474	0.00008046	-0.00093757
20	0.00011422	0.00003542	-0.00120297
21	-0.00000267	0.00003970	-0.00164156
22	-0.00000267	0.00000000	-0.00160146
25	-0.00012724	0.00009614	-0.00113961
26	-0.00014026	0.00001638	-0.00145682
27	-0.00014026	0.00000000	-0.00154200

NOI	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ANDAR 8 TRANSLACAO Z
1	0.00004232	0.00008792	-0.00103538
2	0.00000483	0.00001086	-0.00129338
3	0.00000483	0.00000000	-0.00137065
5	0.00001174	0.00009042	-0.00093917
6	-0.00003541	0.00001972	-0.00121987
7	-0.00004469	0.00001084	-0.00135563
8	-0.00004469	0.00000000	-0.00147227
11	-0.00001612	0.00002569	-0.00100429
29	-0.00014114	-0.00000039	-0.00015084
12	-0.00005957	0.00009238	-0.00113565
13	-0.00005957	0.00000000	-0.00117461

15	-0.00003105	-0.00000042	-0.00000000
16	-0.000000700	0.00015298	-0.000100537
17	-0.000000750	0.000000000	-0.000139520
19	-0.00010153	0.00007672	-0.000074535
20	0.000000504	0.00002573	-0.000000851
21	-0.000000254	0.00003136	-0.000133901
22	-0.000000254	0.000000000	-0.000145681
25	-0.00011560	0.00008768	-0.000090237
26	-0.00012565	0.00001079	-0.000115640
27	-0.00012565	0.00000000	-0.000123564

NO	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ROTACAO Z	ANDAR ROTACAO Z
1	0.00003877	0.00007759	-0.000072393	
2	0.00001463	0.000000444	-0.000000967	
3	0.00001463	0.000000000	-0.000097735	
5	0.00001609	0.00008088	-0.000065252	
6	-0.00002560	0.00001026	-0.000086789	
7	-0.00003877	0.000000773	-0.000095717	
8	-0.00003877	0.000000000	-0.000100912	
11	-0.00003379	0.00003924	-0.000071022	
29	-0.00015246	-0.00000030	-0.000024577	
12	-0.000024328	0.00007751	-0.000080254	
13	-0.000024328	0.000000000	-0.000101921	
15	-0.00002119	-0.00002761	-0.000067583	
16	-0.00002679	0.00012495	-0.000075356	
17	-0.00002679	0.000000000	-0.000104135	
19	-0.000068370	0.00007112	-0.000052518	
20	0.000047253	0.00001439	-0.000060310	
21	-0.00006112	0.00002215	-0.000092609	
22	-0.00006112	0.000000000	-0.000105909	
25	-0.00009735	0.00007732	-0.000063274	
26	-0.00010446	0.00000034	-0.000081658	
27	-0.00010446	0.00000000	-0.000088410	

NO	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ROTACAO Z	ANDAR ROTACAO Z
1	0.00003825	0.00006945	-0.000037793	
2	0.00003137	-0.000000485	-0.000047830	
3	0.00003137	0.000000000	-0.000053204	
5	0.00002555	0.00007276	-0.000034184	
6	-0.00001679	-0.00000301	-0.000046231	
7	-0.00002342	0.00006584	-0.000053569	
8	-0.00002342	0.000000000	-0.000061461	
11	-0.00001178	0.00006015	-0.000037584	
29	-0.00002293	-0.000000657	-0.000012462	
12	-0.00002239	0.00006882	-0.000042428	
13	-0.00002239	0.000000000	-0.000062009	
15	-0.00003719	0.00002039	-0.000035834	
16	-0.00000567	0.00009606	-0.000039901	
17	-0.00003567	-0.00000000	-0.000064367	
19	-0.00006283	0.00006762	-0.000027680	
20	0.00004546	-0.00000091	-0.000037236	
21	0.00000363	0.00001334	-0.000089062	
22	0.00000363	0.00000000	-0.000061069	
25	-0.00007242	0.00006927	-0.000033154	
26	-0.00005217	-0.00000042	-0.000043070	
27	-0.00005217	0.00000000	-0.000048433	

NO	DESLOCAMENTOS ROTACAO X	DOS NOIS ROTACAO Y	DO ROTACAO Z	ANDAR ROTACAO Z
1	-0.00000000	-0.00000000	-0.00000000	
2	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000	

5	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
6	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
7	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
11	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
29	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
12	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
15	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
16	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
19	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
20	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
21	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
25	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000
26	-0.00000000	0.00000000	-0.00000000

# DESLOCAMENTOS DOS ANDARES

ANDAR	TRANSLACAO X	TRANSLACAO Y	ROTACAO Z
1	0.00000000	0.00459493	0.00000000
2	0.00000000	0.00404345	0.00000000
3	0.00000000	0.00345446	0.00000000
4	0.00000000	0.00291772	0.00000000
5	0.00000000	0.00234857	0.00000000
6	0.00000000	0.00178949	0.00000000
7	0.00000000	0.00125750	0.00000000
8	0.00000000	0.00077067	0.00000000
9	0.00000000	0.00037910	0.00000000
10	-0.00000000	0.00010408	0.00000000

# ESFORÇOS NAS EXTREMIDADES DOS ELEMENTOS

## ANDAR NUMERO 1

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL		EXTREMIDADE FINAL	
	MX	MY	MX	MY
1A	0.006	-0.524	1.108	-0.006
1B	0.000	-0.902	1.152	-0.000
2A	0.016	-0.569	1.060	-0.016
2B	-0.005	-1.243	1.147	-0.005
2C	0.000	-0.929	1.080	-0.000
3A	0.023	0.223	0.599	-0.023
3B	-0.033	-1.592	0.905	-0.033
3C	0.000	-0.130	1.080	-0.000
4A	0.018	0.726	0.332	-0.018
4B	-0.009	-2.571	1.331	0.009
4C	-0.000	0.280	1.080	0.000
5A	-0.019	-0.412	0.953	-0.019
5B	0.024	-1.785	1.302	-0.024
5C	0.000	-0.711	1.080	-0.000
6A	0.002	-0.524	1.107	-0.002
6B	0.000	-0.898	1.152	-0.000
7A	0.041	0.102	0.778	-0.041
7B	-0.018	-0.332	0.849	0.018
7C	-0.027	-0.261	0.855	0.027
8A	0.011	0.120	1.303	-0.011
8B	0.011	3.253	-1.160	-0.011
8C	-0.009	-2.275	1.082	0.009
9A	0.013	1.010	0.013	1.010

94	-0.304	0.229	0.205	0.009	0.045	0.995
98	-0.038	0.273	0.498	0.038	1.775	1.319
9C	0.016	-1.021	0.972	-0.016	1.159	0.928
9D	0.031	-0.461	0.978	-0.031	0.471	0.822
9E	0.001	-0.052	0.751	-0.001	0.797	1.049

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	MX	MY	FZ	FX	FY	FZ
P1	1.009	0.512	-2.577	-0.313	0.621	0.000
P2	0.803	0.113	-3.397	-0.673	0.087	0.000
P5	0.772	0.482	-2.326	-0.296	0.477	0.000
P6	0.298	0.159	-3.003	-0.120	0.191	0.000
P7	0.414	0.117	-3.866	-0.071	0.262	0.000
P11	0.862	-0.213	-2.524	0.127	0.330	0.000
P12	0.295	0.719	-2.319	-0.432	0.185	0.000
P15	0.459	-0.665	-2.323	0.402	0.288	0.000
P16	0.745	1.036	-2.669	0.624	0.463	0.000
P19	0.140	0.371	-1.741	-0.228	0.088	0.000
P20	1.354	0.238	-2.099	-0.150	0.842	0.000
P21	0.742	0.285	-3.024	-0.174	0.460	0.000
P25	0.117	0.513	-2.411	-0.314	0.079	0.000
P26	0.031	0.115	-3.154	-0.074	0.023	0.000
C-4	0.703	-2.158	-10.152	1.100	-0.847	0.000
L-1	0.000	0.826	0.000	-0.431	0.000	0.000
L-2	0.000	0.891	0.000	-0.354	0.000	0.000
L-3	0.000	1.490	0.000	-0.741	0.000	0.000
L-4	0.000	1.904	0.000	-0.943	0.000	0.000
L-5	0.000	0.969	0.000	-0.462	0.000	0.000
L-6	0.000	0.830	0.000	-0.433	0.000	0.000

# ANDAR NUMERO 2

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.007	-0.925	1.198	-0.007	0.648	1.106
1B	0.000	-0.582	1.152	-0.000	-0.846	-0.000
2A	0.011	-0.444	1.151	-0.011	0.893	1.153
2B	-0.004	-1.265	1.160	0.004	0.786	1.000
2C	0.000	-0.965	1.080	0.000	-0.855	0.000
3A	0.023	0.349	0.572	-0.023	2.731	1.586
3B	-0.003	-1.666	0.975	0.003	-0.817	-0.237
3C	0.000	-0.401	1.084	-0.000	-1.219	0.000
4A	0.017	1.173	0.223	-0.017	3.967	1.437
4B	-0.008	-2.712	1.446	0.008	-1.776	-0.768
4C	0.000	-0.072	1.080	-0.000	-1.528	0.000
5A	-0.033	-0.706	1.039	0.033	1.384	1.265
5B	0.022	-1.451	1.336	-0.022	0.317	0.824
5C	-0.000	-0.794	1.080	0.000	-0.826	0.000
6A	0.003	-0.927	1.109	-0.003	0.647	1.195
6B	0.000	-0.879	1.152	0.000	-0.850	0.000
7A	0.031	0.250	0.705	-0.031	1.023	1.215
7B	-0.013	-0.107	0.764	0.013	1.089	1.156
7C	-0.021	0.124	0.647	0.021	1.442	1.273
8A	0.008	0.288	1.121	-0.008	-1.074	0.799
8B	0.011	3.694	-1.292	-0.011	6.960	3.056
8C	-0.009	-2.181	1.573	0.009	-1.204	0.191
8D	-0.009	1.522	0.225	0.009	1.852	1.695
9A	-0.005	0.092	0.719	0.005	0.706	1.061
9B	-0.027	0.460	0.339	0.027	2.104	1.401
9C	0.012	-0.733	0.778	-0.012	1.343	1.022
9D	0.022	-0.758	0.938	-0.022	0.565	0.862
9E	-0.001	0.242	0.550	0.001	1.190	1.232

PILAR	EXTREMIDADE			SUPERIOR			EXTREMIDADE			INFERIOR		
	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ
P1	0.498	0.441	-6.151	-0.279	0.574	0.000	0.897	0.440	-6.831	0.277	-0.574	-0.000
P2	0.673	0.117	-7.567	-0.073	0.428	0.000	0.676	0.119	-8.247	0.073	-0.424	-0.000
P5	0.700	0.418	-5.231	-0.265	0.445	0.000	0.700	0.418	-5.911	0.265	-0.445	-0.000
P6	0.328	0.184	-6.412	-0.116	0.210	0.000	0.330	0.180	-7.092	0.116	-0.210	-0.000
P7	0.415	0.095	-7.457	-0.060	0.263	0.000	0.415	0.094	-8.537	0.060	-0.263	-0.000
P11	0.526	-0.154	-6.579	0.096	0.378	0.000	0.595	-0.147	-6.260	-0.096	-0.378	-0.000
P12	0.294	0.546	-6.383	-0.359	0.188	0.000	0.297	0.566	-6.984	0.359	-0.182	-0.000
P15	0.450	-0.531	-5.226	0.337	0.286	0.000	0.452	-0.531	-5.886	-0.337	-0.286	-0.000
P16	0.690	0.310	-5.060	-0.528	0.438	0.000	0.689	0.334	-6.640	0.528	-0.437	-0.000
P19	0.146	0.327	-4.165	-0.298	0.093	0.000	0.148	0.328	-4.846	0.298	-0.093	-0.000
P20	1.249	0.228	-4.887	-0.144	0.792	0.000	1.247	0.225	-5.567	0.144	-0.792	-0.000
P21	0.541	0.237	-7.498	-0.150	0.432	0.000	0.681	0.236	-8.489	0.150	-0.432	-0.000
P25	0.153	0.442	-5.411	-0.280	0.096	0.000	0.150	0.441	-6.091	0.280	-0.096	-0.000
P26	0.059	0.118	-6.531	-0.074	0.037	0.000	0.059	0.116	-7.511	0.074	-0.037	-0.000
C-1	23.105	-0.608	-34.053	0.520	3.344	0.000	-12.573	-0.928	-47.338	-0.520	-3.344	-0.000
L-1	0.000	0.314	0.000	-0.223	0.000	0.000	0.000	0.389	0.000	0.223	0.000	0.000
L-2	0.000	0.230	0.000	-0.169	0.000	0.000	0.000	0.301	0.000	0.169	0.000	0.000
L-3	0.000	0.374	0.000	-0.293	0.000	0.000	0.000	0.548	0.000	0.293	0.000	0.000
L-4	0.000	0.461	0.000	-0.366	0.000	0.000	0.000	0.690	0.000	0.366	0.000	0.000
L-5	0.000	0.286	0.000	-0.246	0.000	0.000	0.000	0.376	0.000	0.246	0.000	0.000
L-6	0.000	0.315	0.000	-0.224	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	0.224	0.000	0.000

ANDAR NUMERO 3

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.000	-0.584	1.187	-0.006	0.676	1.117
1B	-0.000	-0.849	1.152	0.000	-0.829	-0.000
2A	0.811	-0.854	1.134	-0.011	0.803	1.160
2B	-0.003	-1.255	1.155	0.003	0.805	1.065
2C	0.000	-0.264	1.080	-0.000	-0.652	0.000
3A	0.023	0.222	0.594	-0.023	2.609	1.562
3B	-0.693	-1.573	0.929	0.003	-0.725	-0.191
3C	-0.000	-0.404	1.050	0.000	-1.210	0.000
4A	0.013	1.097	0.249	-0.014	3.891	1.911
4B	-0.668	-2.638	1.409	0.008	-1.625	-0.671
4C	0.000	-0.077	1.080	-0.000	-1.543	0.000
5A	-0.033	-0.686	1.037	0.033	1.375	1.267
5B	0.022	-1.818	1.324	-0.022	0.357	0.836
5C	-0.000	-0.400	1.066	0.000	-0.820	0.000
6A	0.003	-0.886	1.187	-0.003	0.675	1.117
6B	0.000	-0.895	1.152	-0.000	-0.833	0.000
7A	0.031	0.277	0.695	-0.031	1.046	1.225
7B	-0.014	-0.110	0.760	0.014	1.110	1.160
7C	-0.020	0.111	0.654	0.020	1.420	1.256
8A	0.008	0.309	1.114	-0.008	-1.050	0.806
8B	0.010	3.628	-1.267	-0.010	6.991	3.031
8C	-0.005	-1.777	1.498	0.008	-1.041	0.266
9A	-0.009	1.719	0.235	0.009	1.804	1.665
9B	-0.006	0.125	0.729	0.006	0.731	1.071
9C	-0.028	0.516	0.355	0.028	2.107	1.445
9D	0.012	-0.718	0.776	-0.012	1.339	1.024
9E	0.022	-0.726	0.921	-0.022	0.608	0.877
9F	-0.001	0.236	0.582	0.001	1.356	1.218

PILAR	EXTREMIDADE			SUPERIOR			EXTREMIDADE			INFERIOR		
	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ

P1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C-4	23.606	-1.129	-57.678	0.701	7.252	0.000	-0.762	-1.079	70.984	-0.701	-7.252	-0.000
L-1	0.000	0.000	0.000	-0.272	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-2	0.000	0.000	0.000	-0.216	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-3	0.000	0.000	0.000	-0.407	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-4	0.000	0.000	0.000	-0.519	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-5	0.000	0.000	0.000	-0.272	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
L-6	0.000	0.000	0.000	-0.273	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ANDAR NUMERO 14

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.000	-0.950	1.177	-0.000	0.711	1.127
1B	0.000	-0.918	1.152	-0.000	-0.810	0.000
2A	0.010	-0.838	1.140	-0.010	0.910	1.164
2B	-0.002	-1.237	1.194	0.002	-0.828	1.012
2C	-0.000	-0.977	1.080	0.000	-0.643	0.000
3A	0.023	0.211	0.629	-0.023	2.495	1.531
3B	-0.004	-1.455	0.877	0.004	-0.627	-0.139
3C	0.000	-0.043	1.080	-0.000	-1.177	0.000
4A	0.018	1.044	0.272	-0.018	3.803	1.884
4B	-0.008	-2.543	1.366	0.008	-1.546	-0.628
4C	0.000	-0.110	1.080	-0.000	-1.510	-0.000
5A	-0.032	-0.679	1.039	0.032	1.359	1.265
5B	0.021	-1.773	1.308	-0.021	0.402	0.852
5C	-0.000	-0.417	1.080	0.000	-0.603	0.000
6A	0.002	-0.461	1.177	-0.002	0.711	1.127
6B	0.000	-0.914	1.152	-0.000	-0.814	0.000
7A	0.030	0.309	0.682	-0.030	1.082	1.238
7B	-0.014	-0.115	0.757	0.014	1.129	1.163
7C	-0.018	0.102	0.655	0.018	1.423	1.265
8A	0.008	0.318	1.100	-0.008	-1.018	0.820
8B	0.010	3.535	-1.224	-0.010	0.786	2.988
8C	-0.008	-1.719	1.493	0.008	-0.836	0.561
8D	-0.009	1.536	0.285	0.009	1.790	1.635
9A	-0.005	0.150	0.715	0.005	0.775	1.085
9B	-0.027	0.572	0.372	0.027	2.067	1.420
9C	0.013	-0.655	0.769	-0.013	1.339	1.031
9D	0.020	-0.688	0.907	-0.020	0.654	0.873
9E	-0.001	0.215	0.585	0.001	1.358	1.215

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
P1	0.888	0.421	-13.175	-0.265	0.562	0.000
P2	0.681	0.100	-15.909	-0.062	0.432	0.000
P5	0.707	0.407	-11.406	-0.257	0.448	0.000
P6	0.393	0.160	-13.567	-0.100	0.253	0.000
P7	0.434	0.483	-16.331	-0.051	0.279	0.000

P11	0.005	-0.005	-11.779	0.053	0.524	0.000	0.000	-0.075	12.479	-0.053	-0.005	-0.005
P12	0.330	0.520	-13.379	-0.326	0.212	0.000	0.334	0.596	10.050	0.326	-0.212	-0.000
P15	0.479	-0.088	-11.067	0.306	0.365	0.000	0.453	-0.474	11.747	-0.306	-0.365	-0.000
P16	0.635	-0.794	-12.599	-0.503	0.434	0.000	0.681	0.788	13.279	0.503	-0.434	-0.000
P19	0.176	0.323	-8.479	-0.205	0.114	0.000	0.162	0.321	9.659	0.205	-0.114	-0.000
P20	1.225	0.201	-10.546	-0.125	0.775	0.000	1.215	0.194	11.227	0.125	-0.775	-0.000
P21	0.683	0.213	-15.581	-0.133	0.433	0.000	0.681	0.207	16.182	0.133	-0.433	-0.000
P25	0.159	0.422	-11.350	-0.266	0.102	0.000	0.161	0.416	12.031	0.266	-0.102	-0.000
P26	0.081	0.101	-14.183	-0.063	0.053	0.000	0.085	0.097	14.864	0.063	-0.053	-0.000
C-4	12.119	-1.063	-81.038	-0.085	11.214	0.000	23.207	-1.096	94.343	-0.085	-11.214	-0.000
L-1	0.000	0.394	0.000	-0.251	0.000	0.000	0.000	0.395	0.000	0.251	0.000	0.000
L-2	0.000	0.312	0.000	-0.199	0.000	0.000	0.000	0.315	0.000	0.199	0.000	0.000
L-3	0.000	0.564	0.000	-0.359	0.000	0.000	0.000	0.569	0.000	0.359	0.000	0.000
L-4	0.000	0.725	0.000	-0.464	0.000	0.000	0.000	0.735	0.000	0.464	0.000	0.000
L-5	0.000	0.388	0.000	-0.247	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	0.247	0.000	0.000
L-6	0.000	0.396	0.000	-0.251	0.000	0.000	0.000	0.396	0.000	0.251	0.000	0.000

ANDAR NUMERO 5

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.006	-0.627	1.154	-0.006	0.758	1.140
1B	0.000	-0.942	1.152	-0.000	-0.766	0.000
2A	0.009	-0.815	1.134	-0.009	0.921	1.170
2B	-0.001	-1.215	1.140	0.001	0.857	1.020
2C	-0.006	-0.946	1.080	0.000	-0.631	0.000
3A	0.023	-0.122	0.567	-0.023	2.354	1.493
3B	-0.004	-1.308	0.811	0.004	-0.503	-0.073
3C	-0.000	-0.459	1.000	0.000	-1.131	0.000
4A	0.018	0.959	0.309	-0.018	3.649	1.851
4B	-0.007	-2.043	1.303	0.007	-1.428	-0.565
4C	-0.006	-0.154	1.040	0.000	-1.466	0.000
5A	-0.030	-0.607	1.040	0.030	1.338	1.204
5B	0.020	-1.713	1.204	-0.020	0.962	0.872
5C	0.000	-0.846	1.080	-0.000	-0.780	-0.000
6A	0.002	-0.827	1.163	-0.002	0.759	1.141
6B	-0.000	-0.046	1.152	0.000	-0.788	0.000
7A	0.028	0.335	0.670	-0.028	1.117	1.250
7B	-0.014	-0.133	0.758	0.014	1.144	1.152
7C	-0.017	0.079	0.662	0.017	1.409	1.258
8A	0.008	0.314	1.081	-0.008	-0.922	0.839
8B	0.009	3.364	-1.146	-0.009	6.870	2.910
8C	-0.007	-1.429	1.295	0.007	-0.595	0.469
9A	-0.009	1.469	0.328	0.009	1.752	1.542
9B	-0.005	0.170	0.701	0.005	0.825	1.099
9C	-0.026	0.501	0.399	0.026	2.002	1.401
9D	0.013	-0.652	0.765	-0.013	1.329	1.035
9E	0.019	-0.648	0.889	-0.019	0.795	0.911
9F	-0.001	0.176	0.597	0.001	1.341	1.203

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
P1	0.862	0.402	-16.611	-0.253	0.546	0.000
P2	0.667	0.088	-20.065	-0.054	0.423	0.000
P5	0.694	0.395	-10.479	-0.249	0.441	0.000
P6	0.419	0.143	-17.354	-0.088	0.270	0.000
P7	0.439	0.072	-20.620	-0.045	0.280	0.000
P11	0.595	-0.045	-10.971	0.023	0.378	0.000
P12	0.340	0.470	-10.991	-0.299	0.219	0.000
P15	0.482	-0.462	-14.064	0.274	0.346	0.000
P16	0.662	0.757	-15.959	-0.475	0.419	0.000
P19	0.154	0.117	-11.464	-0.240	0.119	0.000
P2	0.857	0.395	17.291	0.253	-0.546	-0.000
P5	0.667	0.083	20.766	0.054	-0.423	-0.000
P6	0.694	0.390	15.159	0.249	-0.441	-0.000
P7	0.433	0.136	18.034	0.088	-0.270	-0.000
P11	0.444	0.069	21.340	0.045	-0.280	-0.000
P12	0.596	-0.028	15.652	-0.023	-0.378	-0.000
P15	0.350	0.484	17.671	0.299	-0.219	-0.000
P16	0.488	-0.422	14.744	-0.274	-0.346	-0.000
P19	0.659	0.740	16.639	0.475	-0.419	-0.000
P2	0.192	0.115	12.450	0.241	-0.119	-0.000



P20	1.120	0.120	-14.472	-0.111	0.745	0.000	1.100	0.171	14.352	-0.111	-0.745	-0.000
P21	0.005	0.193	-19.631	-0.120	0.422	0.000	0.000	0.185	20.312	0.120	-0.422	-0.000
P25	0.155	0.403	-14.275	-0.253	0.100	0.000	0.159	0.395	14.455	0.253	-0.100	-0.000
P26	0.086	0.689	-17.857	-0.055	0.058	0.000	0.095	0.684	18.538	0.055	-0.058	-0.000
C-4	-11.646	-1.146	-104.006	0.733	15.272	0.000	59.792	-1.163	-117.312	-0.733	-15.272	0.000
L-1	0.000	0.391	0.000	-0.246	0.000	0.000	0.000	0.385	0.000	0.246	0.000	0.000
L-2	0.000	0.316	0.000	-0.200	0.000	0.000	0.000	0.313	0.000	0.200	0.000	0.000
L-3	0.000	0.563	0.000	-0.354	0.000	0.000	0.000	0.552	0.000	0.354	0.000	0.000
L-4	0.000	0.731	0.000	-0.460	0.000	0.000	0.000	0.719	0.000	0.460	0.000	0.000
L-5	0.000	0.389	0.000	-0.245	0.000	0.000	0.000	0.383	0.000	0.245	0.000	0.000
L-6	0.000	0.392	0.000	-0.247	0.000	0.000	0.000	0.386	0.000	0.247	0.000	0.000

ANDAR NÚMERO 6

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.006	-0.784	1.147	-0.006	0.817	1.157
1B	-0.000	-0.974	1.152	0.000	-0.754	0.000
2A	0.007	-0.783	1.126	-0.007	0.939	1.178
2B	-0.000	-1.192	1.130	0.000	0.891	1.030
2C	0.000	-1.002	1.080	-0.000	-0.618	0.000
3A	0.022	0.022	0.711	-0.022	2.194	1.449
3B	-0.000	-1.137	0.734	0.000	-0.366	0.000
3C	0.000	-0.542	1.050	-0.000	-1.076	0.000
4A	0.015	0.540	0.350	-0.016	3.482	1.800
4B	-0.007	-2.210	1.217	0.007	-1.266	-0.479
4C	0.000	-0.214	1.080	-0.000	-1.400	-0.000
5A	-0.028	-0.650	1.041	-0.028	1.316	1.283
5B	0.019	-1.640	1.204	-0.019	0.536	0.896
5C	-0.000	-0.868	1.080	0.000	-0.752	-0.000
6A	0.002	-0.783	1.146	-0.002	0.620	1.158
6B	-0.006	-0.973	1.152	0.000	-0.755	0.000
7A	0.026	0.343	0.602	-0.026	1.144	1.258
7B	-0.014	-0.169	0.704	0.014	1.151	1.156
7C	-0.014	0.033	0.680	0.014	1.360	1.240
8A	0.008	0.301	1.058	-0.008	-0.791	0.862
8B	0.008	3.105	-1.020	-0.008	6.215	2.784
8C	-0.006	-1.135	1.181	0.006	-0.331	0.583
8D	-0.009	1.184	0.387	0.009	-1.678	1.533
9A	-0.004	0.175	0.690	0.004	0.873	1.110
9B	-0.025	0.398	0.439	0.025	1.907	1.361
9C	0.013	-0.621	0.783	-0.013	1.305	1.037
9D	0.018	-0.614	0.871	-0.018	0.756	0.929
9E	-0.001	0.112	0.618	0.001	1.299	1.182

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	FX	FY	FZ	FX	FY	FZ
P1	0.815	0.380	-19.970	-0.238	0.516	0.000
P2	0.637	0.073	-24.257	-0.044	0.405	0.000
P5	0.560	0.379	-17.525	-0.239	0.422	0.000
P6	0.428	0.121	-21.313	-0.074	0.277	0.000
P7	0.424	0.061	-24.956	-0.037	0.272	0.000
P11	0.565	0.006	-18.199	-0.010	0.359	0.000
P12	0.338	0.433	-20.663	-0.270	0.219	0.000
P15	0.469	-0.378	-17.125	0.232	0.300	0.000
P16	0.620	0.702	-19.365	-0.439	0.393	0.000
P19	0.180	0.309	-13.753	-0.195	0.118	0.000
P20	1.101	0.153	-16.521	-0.024	0.693	0.000
P21	0.627	0.168	-23.836	-0.104	0.398	0.000
P25	0.140	0.379	-17.154	-0.238	0.091	0.000
P26	0.033	0.073	-21.534	-0.045	0.056	0.000
C-4	-28.448	-1.212	-120.376	0.770	19.080	0.000

L-1	0.000	0.370	0.000	-0.232	0.000	0.000	0.000	0.360	0.000	0.232	0.000	0.000
L-2	0.000	0.355	0.000	-0.191	0.000	0.000	0.000	0.298	0.000	0.191	0.000	0.000
L-3	0.000	0.520	0.000	-0.329	0.000	0.000	0.000	0.511	0.000	0.329	0.000	0.000
L-4	0.000	0.664	0.000	-0.431	0.000	0.000	0.000	0.669	0.000	0.431	0.000	0.000
L-5	0.000	0.369	0.000	-0.231	0.000	0.000	0.000	0.359	0.000	0.231	0.000	0.000
L-6	0.000	0.370	0.000	-0.232	0.000	0.000	0.000	0.360	0.000	0.232	0.000	0.000

ANDAR NUMERO 7

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.005	-0.732	1.120	-0.005	0.890	1.178
1B	0.000	-1.012	1.152	-0.000	-0.716	-0.000
2A	0.000	-0.741	1.110	-0.000	0.960	1.190
2B	0.001	-1.171	1.121	-0.001	0.927	1.039
2C	-0.000	-1.017	1.080	-0.000	-0.603	0.000
3A	0.021	-0.086	0.757	-0.021	2.022	1.003
3B	-0.004	-0.949	0.650	0.004	-0.201	0.088
3C	-0.000	-0.601	1.080	0.000	-1.019	-0.000
4A	0.018	0.602	0.428	-0.018	3.231	1.732
4B	-0.006	-1.458	1.104	0.006	-1.053	-0.366
4C	-0.000	-0.292	1.080	0.000	-1.328	-0.000
5A	-0.026	-0.626	1.031	0.026	1.294	1.203
5B	0.017	-1.556	1.235	-0.017	0.623	0.925
5C	-0.000	-0.961	1.080	0.000	-0.719	0.000
6A	0.001	-0.729	1.124	-0.001	0.894	1.180
6B	-0.000	-1.012	1.152	-0.000	-0.716	0.000
7A	0.023	0.325	0.663	-0.023	-1.159	1.257
7B	-0.013	-0.230	0.777	0.013	1.143	1.143
7C	-0.012	-0.047	0.713	0.012	1.242	1.247
8A	0.006	0.250	1.031	-0.006	-0.612	0.889
8B	0.006	2.717	-0.832	-0.006	5.640	2.506
8C	-0.005	-0.366	1.071	0.005	-0.058	0.603
8D	-0.009	0.906	0.468	0.009	1.556	1.452
9A	-0.004	0.154	0.885	0.004	0.915	1.115
9B	-0.023	0.258	0.494	0.023	1.774	1.306
9C	0.012	-0.599	0.768	-0.012	1.261	1.032
9D	0.016	-0.590	0.858	-0.016	0.802	0.942
9E	-0.000	0.015	0.652	0.000	1.222	1.148

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
P1	0.746	0.352	-23.229	-0.220	0.469	0.000
P2	0.587	0.055	-28.016	-0.032	0.375	0.000
P5	0.010	0.357	-20.527	-0.224	0.389	0.000
P6	0.410	0.094	-25.464	-0.057	0.265	0.000
P7	0.336	0.009	-29.351	-0.030	0.248	0.000
P11	0.569	0.060	-21.092	-0.044	0.324	0.000
P12	0.317	0.382	-24.402	-0.237	0.207	0.000
P15	0.434	-0.294	-20.268	0.176	0.279	0.000
P16	0.551	0.631	-22.834	-0.391	0.349	0.000
P19	0.159	0.298	-16.138	-0.186	0.106	0.000
P20	0.980	0.121	-19.758	-0.073	0.615	0.000
P21	0.504	0.139	-28.130	-0.005	0.358	0.000
P25	0.119	0.351	-19.924	-0.219	0.074	0.000
P26	0.064	0.055	-25.236	-0.032	0.047	0.000
C-A	-98.683	-1.284	-148.338	0.832	23.897	0.000
L-1	0.000	0.356	0.000	-0.227	0.000	0.000
L-2	0.000	0.435	0.000	-0.197	0.000	0.000
L-3	0.000	0.508	0.000	-0.326	0.000	0.000
L-4	0.000	0.659	0.000	-0.421	0.000	0.000
L-5	0.000	0.359	0.000	-0.231	0.000	0.000

LANDAR NUMERO 8

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.004	-0.669	1.100	-0.004	0.979	1.204
1B	0.000	-1.059	1.152	-0.000	-0.669	0.000
2A	0.005	-0.685	1.097	-0.005	1.016	1.207
2B	0.001	-1.156	1.112	-0.001	0.984	1.048
2C	-0.000	-1.031	1.080	0.000	-0.589	-0.000
3A	0.018	-0.197	0.805	-0.018	1.845	1.355
3B	-0.003	-0.749	0.560	0.003	-0.933	0.178
3C	0.000	-0.664	1.080	-0.000	-0.956	-0.000
4A	0.016	0.477	0.516	-0.016	2.907	1.644
4B	-0.006	-1.637	0.959	0.006	-0.783	-0.221
4C	-0.000	-0.392	1.080	0.000	-1.228	-0.000
5A	-0.022	-0.593	1.038	0.022	1.270	1.266
5B	0.014	-1.464	1.204	-0.014	0.722	0.956
5C	0.000	-0.939	1.080	-0.000	-0.681	-0.000
6A	0.001	-0.665	1.099	-0.001	0.983	1.205
6B	0.000	-1.260	1.152	-0.000	-0.668	0.000
7A	0.019	0.268	0.676	-0.019	1.153	1.244
7B	-0.012	-0.324	0.822	0.012	1.117	1.118
7C	-0.009	-0.171	0.765	0.009	1.144	1.155
8A	0.008	0.138	0.947	-0.008	-0.374	0.923
8B	0.005	2.172	-0.565	-0.005	4.917	2.329
8C	-0.004	-0.651	0.972	0.004	0.209	0.792
8D	-0.009	0.565	0.573	0.009	1.368	1.347
9A	-0.004	0.110	0.689	0.004	0.945	1.111
9B	-0.021	0.071	0.567	0.021	1.595	1.233
9C	0.010	-0.593	0.780	-0.010	1.191	1.420
9D	0.014	-0.583	0.849	-0.014	0.836	0.951
9E	-0.000	-0.123	0.705	0.000	1.099	1.095

PILAR	EXTREMIDADE SUPERIOR			EXTREMIDADE INFERIOR		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
P1	0.628	0.318	-26.356	-0.198	0.398	0.000
P2	0.510	0.033	-32.547	-0.018	0.327	0.000
P5	0.524	0.324	-23.459	-0.204	0.335	0.000
P6	0.353	0.062	-29.829	-0.036	0.229	0.000
P7	0.319	0.037	-33.814	-0.022	0.206	0.000
P11	0.417	0.115	-24.862	-0.079	0.266	0.000
P12	0.271	0.329	-28.210	-0.203	0.178	0.000
P15	0.356	-0.127	-23.510	0.105	0.236	0.000
P16	0.448	0.540	-26.327	-0.332	0.285	0.000
P19	0.115	0.281	-18.532	-0.176	0.080	0.000
P20	0.805	0.083	-23.266	-0.048	0.502	0.000
P21	0.467	0.106	-32.524	-0.064	0.297	0.000
P25	0.062	0.317	-22.771	-0.197	0.047	0.000
P26	0.028	0.033	-28.962	-0.018	0.026	0.000
C-A	-164.701	-1.346	-169.012	0.845	28.537	0.000
L-1	0.000	0.308	0.000	-0.177	0.000	0.000
L-2	0.000	0.272	0.000	-0.154	0.000	0.000
L-3	0.000	0.436	0.000	-0.247	0.000	0.000
L-4	0.000	0.562	0.000	-0.321	0.000	0.000
L-5	0.000	0.313	0.000	-0.178	0.000	0.000
L-6	0.000	0.308	0.000	-0.177	0.000	0.000

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.003	-0.575	1.070	-0.003	1.065	1.230
1B	-0.000	-1.114	1.152	0.000	-0.014	0.000
2A	0.005	-0.615	1.070	-0.005	1.066	1.230
2B	0.001	-1.152	1.106	-0.001	0.997	1.050
2C	-0.000	-1.045	1.050	0.000	-0.575	0.000
3A	0.014	-0.311	0.850	-0.014	1.066	1.366
3B	-0.003	-0.544	0.468	0.003	0.138	0.270
3C	-0.000	-0.731	1.080	0.000	-0.889	-0.000
4A	0.013	0.211	0.629	-0.013	2.490	1.531
4B	-0.004	-1.237	0.700	0.004	-0.446	-0.042
4C	0.000	-0.518	1.000	-0.000	-1.102	-0.000
5A	-0.016	-0.551	1.032	0.016	1.270	1.272
5B	0.011	-1.107	1.170	-0.011	0.828	-0.000
5C	-0.000	-0.980	1.038	0.000	-0.640	0.000
6A	0.001	-0.593	1.069	-0.001	1.089	1.235
6B	0.000	-1.115	1.152	-0.000	-0.613	0.000
7A	0.013	0.159	0.704	-0.013	1.119	1.216
7B	-0.009	-0.459	0.839	0.009	1.066	1.081
7C	-0.006	-0.354	0.803	0.006	0.937	1.077
8A	0.004	0.079	0.956	-0.004	-0.060	0.964
8B	0.003	1.031	-0.200	-0.003	3.872	1.964
8C	-0.002	-0.523	0.805	0.002	0.455	0.568
8D	-0.009	0.153	0.709	0.009	1.100	1.211
9A	-0.003	0.015	0.706	0.003	0.954	1.094
9B	-0.018	-0.166	0.660	0.018	1.365	1.100
9C	0.008	-0.009	0.805	-0.008	1.086	0.995
9D	0.012	-0.601	0.850	-0.012	0.853	0.950
9E	0.001	-0.312	0.778	-0.001	0.921	1.022

PILAR	EXTREMIDADE C			SUPERIOR			EXTREMIDADE			INFERIOR		
	MX	MY	FZ	FX	FY	FZ	MX	MY	FZ	FX	FY	FZ
P1	0.473	0.282	-29.317	-0.175	0.330	0.000	0.473	0.271	29.998	0.175	-0.300	-0.000
P2	0.404	0.005	-30.635	0.000	0.263	0.000	0.425	-0.007	37.315	-0.000	-0.263	-0.000
P5	0.401	0.294	-28.299	-0.163	0.259	0.000	0.413	0.284	26.970	0.163	-0.259	-0.000
P6	0.244	0.022	-30.420	-0.009	0.159	0.000	0.255	0.005	35.104	0.009	-0.159	-0.000
P7	0.211	0.027	-38.358	-0.016	0.138	0.000	0.225	0.024	39.038	0.016	-0.138	-0.000
P11	0.279	0.175	-28.321	-0.119	0.174	0.000	0.281	0.201	29.001	0.119	-0.174	-0.000
P12	0.191	0.280	-32.085	-0.174	0.130	0.000	0.218	0.267	32.706	0.174	-0.130	-0.000
P15	0.266	-0.044	-28.870	0.009	0.175	0.000	0.284	0.017	27.554	-0.009	-0.175	-0.000
P16	0.304	0.034	-30.056	-0.264	0.173	0.000	0.305	0.397	30.730	0.264	-0.173	-0.000
P19	0.039	0.263	-20.949	-0.166	0.033	0.000	0.066	0.258	21.629	0.166	-0.033	-0.000
P20	0.567	0.035	-27.152	-0.016	0.349	0.000	0.533	0.016	27.832	0.016	-0.349	-0.000
P21	0.330	0.072	-37.029	-0.042	0.212	0.000	0.336	0.061	37.709	0.042	-0.212	-0.000
P25	-0.008	0.281	-25.477	-0.175	0.005	0.000	0.024	0.276	26.157	0.175	-0.005	-0.000
P26	-0.038	0.005	-32.735	0.001	-0.015	0.000	-0.009	-0.007	33.416	-0.001	0.015	-0.000
C-A	-247.249	-1.538	-189.712	1.057	33.621	0.000	353.155	-1.791	203.017	-1.057	-33.621	-0.000
L-1	0.000	0.364	0.000	-0.285	0.000	0.000	0.000	0.535	0.000	0.285	0.000	0.000
L-2	0.000	0.361	0.000	-0.294	0.000	0.000	0.000	0.560	0.000	0.294	0.000	0.000
L-3	0.000	0.547	0.000	-0.442	0.000	0.000	0.000	0.836	0.000	0.442	0.000	0.000
L-4	0.000	0.654	0.000	-0.516	0.000	0.000	0.000	0.972	0.000	0.516	0.000	0.000
L-5	0.000	0.392	0.000	-0.315	0.000	0.000	0.000	0.600	0.000	0.315	0.000	0.000
L-6	0.000	0.363	0.000	-0.285	0.000	0.000	0.000	0.534	0.000	0.285	0.000	0.000

ANDAR NUMERO 10

VIGA	EXTREMIDADE INICIAL			EXTREMIDADE FINAL		
	MX	MY	FZ	MX	MY	FZ
1A	0.001	-0.456	1.020	-0.001	1.210	1.278
1B	0.000	-1.101	1.152	-0.000	-0.535	0.000

24	0.005	-1.169	1.032	-0.005	1.169	1.272
26	0.001	-1.176	1.105	-0.001	1.020	1.055
2C	-0.000	-1.054	1.089	0.000	-0.566	0.000
34	0.007	-0.356	0.864	-0.007	1.530	1.276
36	-0.002	-0.332	0.379	0.002	0.329	0.368
3C	-0.000	-0.774	1.030	0.000	-0.846	0.000
44	0.006	-0.057	0.755	-0.006	-2.009	1.465
48	-0.002	-0.735	0.551	0.002	-0.010	0.187
4C	-0.000	-0.648	1.080	0.000	-0.972	0.000
54	-0.012	-0.435	1.011	0.012	1.284	1.293
58	0.006	-1.268	1.139	-0.006	0.936	1.021
5C	0.000	-1.020	1.080	-0.000	-0.600	-0.000
64	0.001	-0.455	1.025	-0.001	1.217	1.279
68	-0.000	-1.194	1.152	0.000	-0.534	0.000
74	0.006	0.020	0.746	-0.006	1.050	1.170
78	-0.005	-0.652	0.872	0.005	0.995	1.028
7C	-0.002	-0.611	0.961	0.002	0.605	0.959
84	0.009	-0.035	0.826	-0.009	0.353	1.024
86	-0.000	0.436	0.288	0.000	2.474	1.476
8C	0.000	-0.511	0.548	-0.000	0.676	0.916
80	-0.010	-0.343	0.890	0.010	0.694	1.036
94	-0.003	-0.093	0.730	0.003	0.943	1.070
98	-0.014	-0.475	0.781	0.014	1.073	1.019
9C	0.005	-0.656	0.544	-0.005	0.735	0.956
90	0.011	-0.287	0.857	-0.011	0.861	0.943
9E	0.002	-0.573	0.289	-0.002	0.628	0.911

PILAR	EXTREMIDADE			SUPERIOR			EXTREMIDADE			INFERIOR		
	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ	MX	MY	FZ	FX	FY	MZ
P1	0.221	0.175	-32.053	-0.083	0.125	0.000	0.172	0.086	32.734	0.083	-0.125	-0.000
P2	0.203	-0.012	-0.057	0.006	0.116	0.000	0.163	-0.006	41.337	-0.006	-0.116	-0.000
P5	0.189	0.154	-29.761	-0.087	0.109	0.000	0.156	0.090	29.691	0.087	-0.109	-0.000
P6	0.082	-0.093	-39.257	0.000	0.059	0.000	0.103	-0.004	39.967	-0.004	-0.059	-0.000
P7	0.064	0.414	-43.665	-0.007	0.050	0.000	0.095	0.007	43.585	0.007	-0.050	-0.000
P11	0.094	0.152	-31.875	-0.072	0.065	0.000	0.110	0.074	32.555	0.072	-0.065	-0.000
P12	0.000	0.172	-36.027	-0.081	0.052	0.000	0.097	0.084	36.707	0.081	-0.052	-0.000
P15	0.106	0.051	-30.374	-0.024	0.070	0.000	0.115	0.025	31.555	0.024	-0.070	-0.000
P16	0.110	0.242	-33.860	-0.115	0.072	0.000	0.117	0.119	34.541	0.115	-0.072	-0.000
P19	-0.034	0.171	-23.386	-0.081	0.004	0.000	0.047	-0.084	24.466	0.081	-0.004	-0.000
P20	0.239	-0.092	-31.576	0.001	0.133	0.000	0.180	-0.001	32.257	-0.001	-0.133	-0.000
P21	0.134	0.034	-41.662	-0.016	0.083	0.000	0.129	0.017	42.342	0.016	-0.083	-0.000
P25	-0.060	0.175	-28.078	-0.043	-0.008	0.000	0.034	0.086	28.759	0.043	-0.008	-0.000
P26	-0.083	-0.012	-36.577	0.006	-0.019	0.000	0.023	-0.006	37.257	-0.006	-0.019	-0.000
C=A	-348.764	-1.362	-208.943	0.649	39.056	0.000	471.892	-0.681	222.249	-0.649	-39.056	-0.000

# REAÇÕES DE APOIO

Nº	FORÇA X	FORÇA Y	FORÇA Z	MOM. X	MOM. Y	MOM. Z
1	0.083	-0.125	32.734	0.172	0.086	-0.000
2	-0.006	-0.116	41.337	0.163	-0.006	-0.000
5	0.087	-0.109	29.691	0.156	0.090	-0.000
6	-0.004	-0.059	39.967	0.103	-0.004	-0.000
7	0.007	-0.050	43.665	0.095	0.007	-0.000
11	0.072	-0.065	32.555	0.110	0.074	-0.000
29	-0.049	-39.088	222.249	471.892	-0.681	-0.000
12	0.081	-0.052	36.707	0.097	0.084	-0.000
15	0.024	-0.070	31.555	0.115	0.025	-0.000
16	0.115	-0.072	34.541	0.117	0.119	-0.000
19	0.081	-0.004	24.466	0.047	0.084	-0.000
20	-0.001	-0.133	32.257	0.180	-0.001	-0.000
21	0.016	-0.083	42.342	0.129	0.017	-0.000
25	0.043	-0.008	28.759	0.034	0.086	-0.000
26	-0.006	0.019	37.257	0.023	-0.006	-0.000